



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

보건학석사 학위논문

한국인 상용식품 중 수은 함량
데이터베이스 구축 및 식품으로
인한 수은 노출수준 평가

(Development of Mercury Database for
commonly consumed food items among
Korean population and Assessment of
Dietary Mercury Intake)

2014년 2월

서울대학교 보건대학원
보건학과 보건영양학 전공
김 성 아

한국인 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스 구축 및 식품으로 인한 수은 노출수준 평가

(Development of Mercury Database for
commonly consumed food items among
Korean population and Assessment of
Dietary Mercury Intake)

지도교수 정 효 지

이 논문을 보건학석사 학위논문으로 제출함

2014년 2월

서울대학교 보건대학원

보건학과 보건영양학 전공

김 성 아

김성아의 석사학위논문을 인준함

2014년 2월

위 원 장 정 해 원 (인)

부 위 원 장 최 경 호 (인)

위 원 정 효 지 (인)

국 문 초 록

수은은 중독될 경우 주로 신경계와 신장, 태아의 발달 과정에 심각한 영향을 미치며, 호흡기계, 심혈관계, 위장관계, 혈액, 면역계, 생식기계에 위해를 줄 수 있다. 일반인에서 수은에 노출되는 가장 주된 경로는 식품을 통한 섭취이므로 우리 국민의 식품을 통한 수은 섭취량을 평가하는 것은 위해도 평가에 있어 매우 기본적이며 중요한 자료가 될 수 있다. 그러나 식품 중 수은 함량 데이터베이스에 대한 국내의 공식적인 발표 자료가 현재로써는 없기 때문에 섭취량의 추정이 용이하지 않다. 이에 본 연구에서는 우리 국민의 식품으로 인한 수은의 노출수준을 평가하기 위해 한국인 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스를 구축하여, 식품섭취량 자료와 연계함으로써 우리 국민의 수은 섭취량을 추정하고 그 역학적 특성을 파악하고자 하였다.

한국인 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위하여 2007-2009년 국민건강영양조사 식품섭취량 조사 결과를 기반으로 대상 식품을 선정하였으며, 국내에서 발표된 식품 중 수은 함량을 분석한 문헌을 고찰하여 수은 함량 값을 수집하였다. 식재료의 수분 함량 차이를 고려하여 대체값을 적용하였으며, 데이터베이스의 완성도는 식품수로는 50.7%, 1인당 1일 평균 섭취중량으로는 95.1%로서 한국인 상용식품을 대상으로 구축된 수은 데이터베이스의 완성도가 매우 우수함을 확인하였다.

우리 국민의 식품을 통한 수은 노출수준을 평가하기 위하여 2007-2011년 국민건강영양조사의 24시간 회상법 자료와, 앞서 구축된 한국인 상용식품 중 수은 데이터베이스를 연계하여 분석하였다.

34,953명의 대상자로부터 추정된 우리 국민의 1일 평균 수은 섭취량은 $3.3\mu\text{g}$ 이었으며, 단위체중당 수은 섭취량은 $0.057\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ 로 이는 잠정주간섭취한계량(PTWI : Provisional tolerable weekly intake)으로부터 환산한 PTDI(Provisional tolerable daily intake)의 10% 수준이었다. 우리나라 국민 중 PTDI 이상으로 섭취한 사람의 추정비율은 0.54%였으며, 우리나라 국민의 약 92%가 PTDI의 25% 미만으로 수은을 섭취하고 있는 것으로 나타났다. 수은 섭취에 대한 기여율이 높은 식품군은 어패류가 73.4%로 가장 높았고, 수은 섭취 기여율이 가장 높았던 어패류를 비롯하여 곡류, 채소류가 수은 섭취량에 미치는 관련성의 크기를 파악하기 위하여 분석을 실시한 결과, 어패류 섭취량이 증가할수록 단위체중당 수은 섭취량이 증가하는 유의한 결과가 관찰되었다.

본 연구에서 구축된 식품 중 수은 함량 데이터베이스는 향후, 우리 국민의 식품을 통한 수은 섭취량을 추정하는 데 이용될 수 있으며, 본 연구의 데이터베이스 구축 방법론은 추후 식품을 통해 노출되는 다른 유해물질의 식품 중 함량 데이터베이스를 구축하는 데 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 수은 섭취, 데이터베이스, 노출 평가

학 번 : 2012-21886

목 차

제 1장 서론	1
제 2장 연구내용 및 방법	5
제 3장 연구결과	10
제 4장 고찰	42
제 5장 요약 및 결론	46
참고문헌	48
Abstract	54

표 목 차

Table 1. Example of data description for mercury database construction	12
Table 2. Literature sources for mercury content of food mainly consumed among Koreans	13
Table 3-1. Mercury content of grains	13
Table 3-2. Mercury content of potatoes & starch	14
Table 3-3. Mercury content of sugars	15
Table 3-4. Mercury content of legumes	15
Table 3-5. Mercury content of seeds and nuts	16
Table 3-6. Mercury content of vegetables	16
Table 3-7. Mercury content of mushrooms	17
Table 3-8. Mercury content of fruits	18
Table 3-9. Mercury content of meats	19
Table 3-10. Mercury content of eggs	19
Table 3-11. Mercury content of fishes & shellfishes	19
Table 3-12. Mercury content of seaweeds	22

Table 3-13. Mercury content of milk & dairy products	23
Table 3-14. Mercury content of oils	23
Table 3-15. Mercury content of beverages & alcohols	23
Table 3-16. Mercury content of seasonings	24
Table 3-17. Mercury content of prepared foods	25
Table 3-18. Mercury content of other foods	25
Table 4. Database coverage for number and weight of food	27
Table 5. Distribution of the study subjects by sociodemographic characteristics	29
Table 6. Mercury exposure from food among Koreans	30
Table 7. Mean intake level of mercury by sex and age group ..	31
Table 8. Distribution of subjects by PTDI of mercury	32
Table 9. Contribution Rate to mercury intake by food groups ..	33
Table 10. Major contributing food to mercury intake	34
Table 11. Food group intake and mercury intake by percentile classification	36
Table 12. Highly contributed food to mercury intake by percentile classification	37

그 립 목 차

Figure 1. Association between fish and shellfish consumption and mercury intake per body weight 39

Figure 2. Association between grain consumption and mercury intake per body weight 40

Figure 3. Association between vegetables consumption and mercury intake per body weight 41

제 1장 서론

1. 연구배경 및 필요성

1) 수은의 위해성 및 주요 노출 경로

수은은 거의 모든 어류와 갑각류 동물에서 발견되는 중금속으로, 오염된 바다나 호수에 사는 생물에게 축적되어 생물농축의 주범으로 여겨진다. 태아기에 수은에 노출될 경우 태아의 신경계 발달에 부정적인 심각한 영향을 미치며, 일반인의 경우에는 신경계, 신장, 호흡기계, 심혈관계, 위장관계, 혈액, 면역계, 생식기계에 위해를 줄 수 있는 것으로 보고되고 있다 (US Environmental Protection Agency, 1997). 태아의 경우 성인에 비해 그 민감도가 5-10배 더 커서 (Clarkson, 1993), 자궁 내에서 수은에 다량 노출될 경우, 모체에서 그 독성이 나타나지 않는 경우에도, 출생한 영아에게는 신경발달 지연 등의 부작용이 나타날 수 있다 (Harada, 1978 & Marsh et al., 1987). 수은 중독으로 인한 건강 위해는 1956년 일본의 구마모토 현의 미나마타 시에서 메틸수은이 포함된 조개 및 어류를 섭취한 주민들에게서 집단적으로 신경학적 이상 징후가 발생한 사례 (Harada, 1995)를 통해 확인할 수 있었으며, 2000년까지 2264명의 환자가 보고되었다.

일반적으로 사람이 수은에 노출되는 경로는 대기로부터의 호흡, 수은에 오염된 식수나 식품의 섭취, 치과나 의료 치료를 통한 노출 등이 있다. 직업적으로 노출되는 경우를 제외하고 수은에 노출되는 가

장 주된 경로는 식품을 통한 섭취이다 (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999).

2) 우리나라 국민의 수은노출 수준

국내에서 시행되고 있는 대규모 환경역학조사 결과, 우리나라 국민의 혈중 수은 농도는 Human Biological Monitoring (HBM)¹⁾ 독일의 CHBM (Commision of Human Biological Monitoring : 독일연방 환경부 소속 인체모니터링 위원회)에서 제시한 인체 무영향 한계 농도 기준

기준보다는 훨씬 낮지만, 다른 인구집단을 대상으로 한 연구 결과에 비해 높은 것으로 나타났다. 모든 인종 중에 아시아 인종에서 혈중 수은 농도가 높게 측정되고 있는 것은 해산물 섭취가 많기 때문인 것으로 보고되고 있으며 (Hightower et al., 2006), 우리나라에서 혈중 수은농도가 높은 것도 이 때문인 것으로 추정된다 (Son et al., 2009).

2005년에 수행된 3기 국민건강영양조사에서 1997명의 한국인을 대상으로 혈중 수은농도를 측정한 결과, 우리나라를 대표하는 표본 집단의 혈중 수은의 평균농도는 4.15µg/L였다. 이는 인체 무영향 한계 농도인 HBM I 값인 5µg/L보다 낮은 수준으로, 여성이 남성보다 혈중 수은농도가 유의하게 낮았고, 40세 이상인 집단이 40세 미만인 집단에 비하여 유의하게 높은 수준이었다. 또한 알코올 비섭취자보다 섭취자에서 더 높았으며, 어류 섭취 빈도에 따라 혈중 수은 농도

1) 독일의 CHBM (Commision of Human Biological Monitoring : 독일연방 환경부 소속 인체모니터링 위원회)에서 제시한 인체 무영향 한계 농도 기준

가 증가하는 것으로 나타났다 (Kim & Lee, 2011).

3) 식품으로 인한 수은 노출 평가의 필요성

산업 발달은 경제 발전 뿐 아니라 사회·문화적으로도 많은 발전을 가져왔으나, 중금속을 포함한 다양한 환경유해물질에 의한 노출이 증가되는 결과를 초래하였다. 특히 식품의 경우에는 생산과정 자체뿐만 아니라 제조, 가공, 조리 과정에서도 유해물질에 쉽게 노출될 가능성이 높아졌으며, 식품의 안전성 문제는 국민 건강을 위협하기에 이르렀다. 따라서, 식품의 안전성 확보는 국민의 건강을 위하여 가장 기본적으로 요구되는 사항으로, 우리 국민이 식품을 통해 노출되는 환경유해물질의 수준을 측정하는 것은 건강관리정책수립의 기본요소라 할 수 있다.

식품을 통해 섭취하는 수은의 노출수준을 평가하는 것은 매우 기본적인 중요한 위해도 평가 자료이다. 한국인이 일상적으로 섭취하는 상용식품에 근거한, 식품을 통해 노출되는 수은의 섭취량 및 위해성에 대한 평가는 국가적인 수은노출 저감화를 위한 대책수립을 위해 필수적인 사업이라 할 수 있다. 유해물질에 대한 노출수준을 평가하는 역학연구나, 국가 단위의 인체 모니터링 사업에서 특정 노출원의 위해도를 평가하기 위해서는 특정 유해물질의 독성 (Toxicity)과 이들 유해물질에 노출(Exposure)되는 정도를 파악하는 것이 필수적이다. 즉, 식품으로 인하여 노출되는 유해물질의 통합적 노출수준을 평가하기 위해서는 식품별 유해물질의 함량자료와 개인 혹은 집단이 어떤 식품을 얼마나 먹는가에 대한 식품 섭취량 자료가 필요하다. 개인이나 집단의 식품 섭취량 자료는 여러 역학 연구

에서 다양한 식사조사방법을 이용하여 수집할 수 있으나, 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스는 국내에서 아직 공식적으로 발표된 바가 없다.

2. 연구목적

본 연구의 목적은 식품으로 인한 수은의 노출수준을 평가하고, 그 역학적 특성을 파악하여, 수은노출 저감화 대책을 마련하기 위한 기초자료를 제공하는 것이다.

이를 위한 구체적인 목적은 첫째, 문헌고찰을 통하여 우리 국민이 일상적으로 섭취하는 식품에 대한 수은 함량 데이터베이스를 구축하고, 둘째, 우리 국민의 식품섭취량과 구축한 데이터베이스를 연계하여 수은 섭취량을 추정하며, 수은 노출의 역학적 특성을 파악하는 것이다.

제 2장 연구내용 및 방법

1. 연구대상 및 방법

1) 대상 식품 선정

국민건강영양조사 4기 (2007년-2009년) 식품섭취조사 결과를 토대로 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위한 대상 식품을 선정하였다. 국민건강영양조사 4기 식품섭취조사 결과 중에서 24시간 회상 자료에서 사용한 2차 식품코드를 기준으로 우리 국민 중 한 사람이 1번이라도 섭취한 702개의 식품을 데이터베이스 구축 대상 식품으로 선정하였다. 국민건강영양조사의 2차 식품코드란 식품코드는 상이하나 상용식품명이 동일하고 수분 함량이 유사하여 섭취량 산출시 합산이 가능한 식품을 묶어 1개 식품으로 분류하기 위한 것으로, 식품의 원재료 (Raw material)가 동일한 경우 조리, 가공 등의 식품 상태보다 수분 함량 차이가 $\pm 15\%$ 범위 이내인 경우 같은 2차 식품코드를 부여하였다.

2) 식품 중 수은 함량값 수집

본 연구에서는 국민건강영양조사의 식품코드 중 우리 국민이 섭취한 식품을 2차코드 기준으로 수은의 함량을 조사하였다. 총 식이조사 (Total Diet Study, TDS) 보고서와, 모니터링 보고서, 연구논문, 그리고 기타 자료에 대하여 국내 문헌 위주로 수집하였다. 총 식이

조사 보고서와 식품 중 수은 모니터링 보고서는 식품의약품안전처 연구관리시스템 홈페이지를 통해 수집하였고, 한국학술정보 (Korean studies Information Service System, KISS) 홈페이지와 구글 학술 웹사이트 (Google Scholar)에서 ‘중금속’, ‘수은’ 등의 키워드로 검색하여 연구논문을 수집하였다. 2000년 1월 1일부터 2013년 3월 14일 까지 발표된 문헌으로 제한하였으며, ‘광산’ 등의 주변에서 수집한 시료에 대하여 분석한 연구논문은 제외하였다. 수집된 문헌 중 2차 식품코드의 부여가 어려운 식품이나 국민건강영양조사 결과 대상자들이 섭취하지 않은 식품은 제외하였다.

수집된 문헌에 대해 미국 USDA (United States Department of Agriculture)에서 이용한 데이터 질적 평가 시스템을 적용 및 응용하여 자료의 질을 평가하였다. 자료의 평가 체계는 시료수집계획, 분석정도관리, 시료의 개수 및 자료의 출처로 구성되어 있다. 시료 수집계획의 경우 시료 수집에 관련된 내용이 구체적으로 있으면 정도에 따라 0점에서 2점까지 표기하였다. 분석정도관리는 기기에 대한 검증, 시험방법에 대한 분석자의 능력을 포함하고, 정도에 따라 0점에서 2점을 부여하며, 시료의 개수는 시료 분석 값을 Mean \pm SD (min ~ max, median)으로 제시가능한 수준의 개수이면 1, 평균값 (또는 단일값)만을 나타낸 경우 0점을 부여하도록 하였다. 수집된 모든 자료에 대하여 질 평가를 한 후, 동일한 코드에 여러 가지 값이 있는 경우, 우선적으로 합계 점수가 높은 것을 선택하고, 동일 점수일 때에는 자료의 출처에 따라 총 식이조사 (Total Diet Study, TDS), 모니터링, 연구논문, 기타 순으로 선택하였으며, 동일한 출처일 경우 분석연도가 최근인 것을 우선적으로 선택하였다.

3) 대체값 적용

동일한 원료이지만 수분 함량이 달라 2차 식품코드가 다른 경우에는 식품 중 수분 함량을 고려하여 식품 중 수은 함량을 계산하였다. 즉, 수분 함량의 차이 이외에 조리과정에서 다른 재료가 포함된 경우를 제외하고 동일한 재료이지만 수분 함량에만 차이가 있는 경우, 국민건강영양조사 3차 식품코드의 환산계수로 대체값을 구하였다. 예를 들어, ‘취나물(산채),생것’에 대한 수은 함량 값이 있는데, 마른 것과 삶은 것에 대한 함량 값이 부재할 경우, 환산계수를 이용하여 ‘취나물(산채),마른 것’과 ‘취나물(산채),삶은 것’에 대한 대체값을 적용하였다.

4) 데이터베이스 구축 및 완성도 평가

본 데이터베이스에서 사용한 식품코드는 국민건강영양조사에서 사용하는 2차 식품코드를 그대로 사용하였다. 식품명은 한글명으로 국민건강영양조사의 표현을 그대로 사용하였고, 개별 식품의 수은 함량은 1kg 당 mg으로 표시하였다. 모든 식품은 국민건강영양조사에서 분류하는 18개의 식품군으로 재분류하였다.

구축된 데이터베이스의 완성도 (Coverage)를 평가하기 위하여 국민건강영양조사 4기(2007-2009년)의 24시간 회상법 자료를 이용하여 수은 함량이 구축된 식품과 대상자가 섭취한 식품의 섭취량과 가짓수를 비교하였다.

5) 우리나라 국민의 식품을 통한 수은 노출량 평가

우리 국민의 식품을 통한 수은 노출 수준은 국민건강영양조사 4·5기 (2007-2011년) 식품섭취조사 자료를 이용하여 분석하였다. 국민건강영양조사 4·5기 대상자 중 24시간 회상법 조사에 참여한 사람은 총 37,836명이며, 이 중 체중 정보가 없는 2,327명을 제외하였다. 에너지 섭취의 이상치를 제외시키기 위하여 한국인 영양섭취 기준 2010에서 성별, 연령별 1일 에너지 필요추정량 대비 비율을 산출하였다. 그 결과 1일 에너지 필요추정량 대비 비율이 20% 미만이거나, 200% 이상인 사람을 제외하였다. 그 결과, 최종적으로 34,953명을 노출량 평가에 포함하였다.

우리나라 국민의 식품을 통한 수은 노출의 위해도를 평가하기 위해 FAO/WHO 식품첨가물 전문가회의(JECFA)에서 제정한 수은에 대한 잠정주간섭취한계량(PTWI : Provisional tolerable weekly intake)으로부터 PTDI(Provisional tolerable daily intake)을 환산하여 비교하였다. PTWI는 일생동안 섭취하여도 건강상 유해한 작용을 일으키지 않는다고 판단되는 체중 1kg당 주간 섭취한계량으로 현재 총 수은에 대한 PTWI는 $4\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{week}$ 이다 (2010). 국민건강영양조사의 식품섭취조사는 1일간의 식사에 대한 섭취량을 제시하고 있으므로, PTWI를 PTDI로 환산하여 비교하고자 하였다. 수은에 대한 PTDI는 약 $0.5714\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ 이다. 1인당 1일 총 수은 섭취량과 체중당 수은 섭취량, PTDI 대비 비율을 산출하여, 고위험 섭취자의 비율을 추정하였다. 수은 섭취 기여율이 높은 식품군과 식품을 선별하였다. 단위체중당 수은 섭취량을 기준으로 고위험군과 정상섭취군 사이에 섭취량에 차이가 있는 식품군과 식품을 분류하

고, 성, 연령, 소득수준 등의 인구학적 변수 및 특정 식품군의 섭취량과 단위체중당 수은 섭취량의 연관성을 살펴보았다.

2. 통계분석

2007-2011년도 국민건강영양조사 영양조사부문 원시자료에 등장한 식품을 식품 중 수은 함량 데이터베이스와 연계하여 개인별 수은 총 섭취량을 산출하였다. 1인 1일 섭취량에는 영양조사가중치를, 단위체중당 1인 1일 섭취량과 % PTDI 값에는 검진결과인 체중의 적용을 위해 연관성가중치 (건강설문&검진&영양)를 이용하여 각각 수은 총 섭취량의 평균과 분포를 도출하였다. 개인별 영양조사가중치를 고려하여 성별, 연령별 수은 섭취 수준을 비교하였다. 식품군별 수은의 1일 평균 섭취량을 산출하여, 수은의 총 섭취량 대비 각 식품군으로부터 수은 섭취량의 비율로 식품군별 기여도를 산출하여 수은의 주요 급원 식품군을 분석하였다. 식품별 수은 섭취량을 산출하여 수은 섭취 기여도가 높은 상위 30개 식품을 선별하였다. 단위체중당 수은섭취량을 기준으로 대상자를 고위험군과 정상섭취군으로 나누고, 두 그룹간 섭취량에 차이가 있는 식품군 및 식품을 선별하였다. GLM (Generalized Linear Model)을 이용하여 성, 연령, 소득수준 등의 인구학적 변수 및 특정 식품군의 섭취에 따른 단위체중당 수은섭취의 연관성을 살펴보았다.

자료의 분석은 SAS 9.3 (SAS Institute INC, Cary, NC)를 이용하였다.

제 3장 연구결과

1. 한국인 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스의 구축

2007년부터 2009년까지 3년간 전국을 대상으로 조사된 국민건강영양조사 4기 자료에 의하면 우리나라 사람들이 섭취하는 식품의 종류는 2차 식품코드를 기준으로 총 702종이었다.

702종의 식품에 대하여 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위하여 국내문헌 위주로 수집한 후, 검색 결과에서 ‘광산’ 등의 주변에서 수집한 시료를 분석한 경우와, 기타 연구자의 판단에 따라 문헌을 제외한 후, 총 68건의 문헌을 선정하여 검토하였다. 개별 문헌에 제시된 식품별 수은 함량을 수집한 후, 개별 문헌의 질적 평가를 수행하였다. 자료 수집 예시는 Table 1과 같다. 수은 함량 자료의 출처와 질 평가 점수, 구입처, 원산지, 가공형태, 조리법, 전처리, 분석방법, 검출한계, ND 처리방법, 검출률(%), 자료 수, 표준편차, 중앙값, 최소값, 최대값 등의 정보에 대하여 가능한 정보를 모두 표시하였다. 질 평가체계는 미국 USDA에서 이용한 데이터 질적 평가 시스템을 적용 및 응용하였다 (Bhagwat et al., 2009). Table 2에서와 같이 자료의 평가를 거쳐 최종적으로 본 데이터베이스에서 구축한 한국인 상용 식품의 수은 함량은 국내 TDS 보고서로부터 169개 식품, 모니터링 보고서로부터 33개 식품, 논문으로부터 96개 식품, 기타 자료로부터 1개 식품에 대한 값을 얻을 수 있었다. 식재료의 수분함량을 고려하여 57개 식품에 대한 값을 대체값으로 사용하였고, 그

이외의 346개 식품에 대해서는 수은 함량에 대한 데이터가 없고, 수분함량을 이용한 대체값도 계산할 수 없어서 결측값으로 처리하였다.

Table 1. Example of data description for mercury database construction

Food name	Food group	Mercury (mg/kg)	Pre-processing	Analytical method	LOD (mg/kg)	ND treatment	Detection rate (%)	No. of data	SD	Median	Min	Max	Reference	Data evaluation ¹⁾	Data source ²⁾
Yeot (Crude maltose)	3	0.0008	N/A	Mercury analyzer(Model SP-3D, Nippon Instrument Co.,Japan)	<0.0001	N/A	N/A	20	0.0004	N/A	ND	0.0023	정소영 등, 2002	1-0-1	3
Red pepper	6	0.001	N/A	Mercury analyzer(Model SP-3D, NIC, Japan)	N/A	N/A	N/A	10	N/A	N/A	0.0003	0.001	김미혜 등, 2003	1-0-1	3

¹⁾ Scoring on a scale of 0-0-0 to 2-2-1 according to Sampling plan, analytical quality control, and number of samples

²⁾ 1: Total Diet Study (TDS) report, 2: Monitoring report, 3: research papers in journal, 4: other sources

Table 2. Literature sources for mercury content of food mainly consumed among Koreans

Categories		No. of food items	Percentage(%)
Type of literatures	TDS	169	24.1
	Monitoring	33	4.7
	Journal	96	13.7
	others	1	0.1
Imputation		57	8.1
Missing		346	49.3
Total		702	100.0

본 연구에서 구축된 데이터베이스를 Table 3-1부터 Table 3-18에 제시하였다. 결측값은 제시하지 않았다.

Table 3-1. Mercury content of grains

Food name	Mercury(mg/kg)
Buckwheat	0.0080
Buckwheat,Buckwheat noodle,Raw	0.0033
Buckwheat,,Buckwheat noodle,,Boiled	0.0015
Buckwheat,Buckwheat noodle,Dry form,Raw	0.0041
Starch jelly	0.0009
Wheat	0.0020
Wheat flour	0.0012
Bread crumbs	0.0011
Noodles,Dry form	0.0003
Noodles,Boiled	0.0002
Ramyeon	0.0018

Food name	Mercury(mg/kg)
Ramyeon,Cooked	0.0004
Noodles,Raw	0.0006
Jungmyeon	0.0003
Breads	0.0008
Cookies,Biscuits,Crackers	0.0004
Snacks	0.0009
Breads with small red bean paste or jam	0.0008
Loaf bread	0.0002
Cakes	0.0010
Hamburgers	0.0007
Barley	0.0017
Sorghum	0.0000
Rice cakes with shredded red bean,Sirutteok	0.0007
Cereals	0.0000
Brown rice	0.0025
Polished rice	0.0016
Glutinous rice	0.0027
Cooked rice	0.0006
Cooked multigrain rice	0.0010
Nurungji,scorched rice	0.0017
Rice gruels	0.0003
Garaetteok/Baekseolgi	0.0015
Corn,Dried	0.0000
Corn	0.0003
Foxtail millet	0.0008
Ramyeon,Cup	0.0007

Table 3-2. Mercury content of potatoes & starch

Food name	Mercury(mg/kg)
Potato	0.0005
Sweet potato	0.0004
Sweet potato,Boiled and Dried	0.0010
Devil's tongue	0.0004
Starches	0.0013
Sweet potato starch vermicelli	0.0012
Sweet potato starch vermicelli,Boiled	0.0007

Table 3-3. Mercury content of sugars

Food name	Mercury(mg/kg)
Fructose	0.0009
Molasses/Syrups	0.0004
Starch syrup	0.0003
Sugars	0.0003
Thick starch syrups	0.0003
Yeot (Crude maltose)	0.0008
Dextrose(Glucose)	0.0015

Table 3-4. Mercury content of legumes

Food name	Mercury(mg/kg)
Kidney beans	0.0070
Kidney beans,Dried	0.0129
Mungbeans	0.0050
Mungbeans,Boiled	0.0019
Mungbeans,Pancake dough	0.0014
Soybeans	0.0006
Soybeans,Boiled	0.0008
Soybean curd	0.0005
Soybean curd,Dried	0.0025
Soybean curd,Unpressed	0.0003
Soybean curd,Fried	0.0003
Soybean milk	0.0003
Soybean powder	0.0006
Peas	0.0080
Peas,Dried	0.0201
Small red beans,Dried	0.0000
Small red beans,Boiled	0.0000

Table 3-5. Mercury content of seeds and nuts

Food name	Mercury(mg/kg)
Perilla seeds	0.0009
Sesame,Seeds,Black sesame	0.0006
Sesame,Seeds,White sesame	0.0007

Table 3-6. Mercury content of vegetables

Food name	Mercury(mg/kg)
Eggplant,Wild vegetables	0.0008
Eggplant,Wild vegetables,Dried	0.0104
Bracken	0.0015
Bracken,Dried	0.0156
Green pepper	0.0006
Red pepper	0.0010
Red pepper,Dried	0.0055
Leaf beet(Chard)	0.0025
Kimchi,Kkakduki	0.0007
Kimchi,Nabakkimchi	0.0016
Kimchi,Dongchimi	0.0011
Kimchi,Baechukimchi	0.0005
Kimchi,Yeolmukimchi	0.0009
Kimchi,Chongkakkimchi	0.0005
Perilla,Leaves	0.0004
Perilla,Leaves,Canned/Bean,Leaves,Canned	0.0015
Ligusticum acutilobum	0.0000
Carro	0.0002
Codonopsis lanceolata	0.0020
Codonopsis lanceolata,Powder	0.0107
Balloom flower,Root	0.0030
Balloom flower,Root,Powder	0.0097
Balloom flower,Root,Blanched	0.0013
Aralia elats	0.0009
Garlic	0.0007
Garlic,Dried	0.0018
Radish leaves	0.0039
Radish	0.0005

Food name	Mercury(mg/kg)
Radish,Danmuji	0.0004
Water dropwort	0.0010
Cabbage	0.0002
Chinese cabbage	0.0008
Chinese chive	0.0008
Lettuce	0.0002
Ginger	0.0004
Mungbean sprout	0.0010
Spinach	0.0018
Angelica keiskei	0.0040
Crown daisy	0.0040
Head lettuce	0.0005
Onion	0.0005
Young leafy radish,Yeolmu	0.0020
Cucumber	0.0004
Cucumber preserved with salt	0.0003
Burdock	0.0000
Asian plantain	0.0120
Kale	0.0032
Soybean sprout	0.0006
Tomato	0.0002
Tomato juice	0.0000
Welsh onion	0.0003
Sweet pepper	0.0000
Pumpkin,Mature	0.0010
Pumpkin,Sliced,Dried	0.0025
Young pumpkin	0.0002

Table 3-7. Mercury content of mushrooms

Food name	Mercury(mg/kg)
Oyster mushroom	0.0004
Juda's ear,Dried	0.0230
Juda's ear,Boiled	0.0010
Manna lichen	0.2010
Phellinus linteus	0.0290
King oyster mushroom	0.0030
Agaricus bisporus	0.0010

Food name	Mercury(mg/kg)
Agaricus bisporus,Powder	0.0099
Winter fungus	0.0010
Oak mushroom,Dried	0.0270
Oak mushroom	0.0010
Oak mushroom,Powder	0.0283

Table 3-8. Mercury content of fruits

Food name	Mercury(mg/kg)
Persimmon	0.0008
Persimmon,Dried	0.0021
Citrus fruit	0.0003
Strawberry	0.0008
Strawberry,Jam	0.0000
Banana	0.0003
Banana,Dried	0.0010
Pear	0.0006
Peach	0.0006
Apple	0.0005
Apple,Dried	0.0024
Watermelon	0.0003
Orange	0.0007
Orange juice	0.0001
Oriental Melon	0.0000
Kiwi	0.0008
Pineapple	0.0000
Grape	0.0005
Grape,Raisin	0.0026
Grape juice	0.0000

Table 3-9. Mercury content of meats

Food name	Mercury(mg/kg)
Whale meat	0.0002
Pheasant meat	0.0000
Chicken	0.0005
Chicken,Fried	0.0000
Chicken,Edible viscera	0.0005
Pork	0.0006
Pork,Belly	0.0005
Pork,Edible viscera	0.0017
Pork products,Ham	0.0003
Pork products,Sausage	0.0020
Beef,Korean beef cattle	0.0010
Beef,Imported beef cattle	0.0004
Beef,Edible viscera	0.0008
Beef,Beef feet,Soup	0.0001
Duck meat	0.0000
Turkey meat	0.0000
Rabbit meat	0.0000

Table 3-10. Mercury content of eggs

Food name	Mercury(mg/kg)
Hen's egg	0.0007
Quail's egg	0.0010

Table 3-11. Mercury content of fishes & shellfishes

Food name	Mercury(mg/kg)
Flat fish	0.0540
Horse mackerel	0.0740
Hair tail	0.0849
Mackerel	0.0775
Pacific saury	0.0517
Bastard halibut	0.0630

Food name	Mercury(mg/kg)
Common sea bass	0.1100
Fish,Salt-fermented	0.0388
Tuna	0.2822
Tuna,Dried	0.7811
Tuna,Canned	0.0455
Pacific cod	0.0630
Pacific cod,Dried strip	0.2487
Fine-spotted flounder	0.0458
Sandfish	0.0770
Sea bream	0.1130
Sea bream,Dried strip	0.1264
Cut tailed bullhead	0.0200
Cat fish	0.0590
Anchovy	0.0190
Anchovy,Boiled and dried	0.0177
Fish and Shellfish,Salt-fermented,Liquid type	0.0104
Alaska pollack	0.0503
Alaska pollack,Semi-dried	0.0693
Alaska pollack,Dried strip	0.0813
Goby	0.0360
Loach	0.0400
Croaker	0.0570
Yellow tail	0.2230
Icefish	0.0085
Icefish,Dried strip	0.0440
Harvest fish	0.0180
Puffer	0.0890
Rock fish	0.0720
Crucian carp	0.0240
Crucian carp,Boiled	0.0686
Sea raven	0.1522
Spanish mackerel	0.0310
Shark	0.3940
Sole	0.0560
Trout	0.0350
Common mullet	0.0090
Angler	0.1120
Naked sand lance	0.0620
Naked sand lance,Dried	0.1021

Food name	Mercury(mg/kg)
Bartailed flathead,Platycephalus indicus	0.1160
Chum salmon	0.0260
Alabesque greenling	0.0450
Alabesque greenling,Dried strip	0.0424
Crap	0.0290
Eel	0.0679
Pacific ocean perch	0.4250
Horse mackerel,Dried strip	0.1467
Gizzard shad	0.0200
Sardine	0.0240
Yellow croaker	0.0362
Yellow croaker,Salt-cured and dried	0.0166
Rock trout	0.0520
File fish,Stephanolepis cirrhifer,Fillet,Dried	0.0260
Pacific herring	0.0800
Leather carp	0.0090
Skate ray	0.0180
Sea rundace	0.0790
Fish paste	0.0228
Whelk,Kelletia lischkei	0.0743
Hen clam,Raw	0.0200
Butter clam	0.0260
Oyster	0.0090
Shrimp/Shellfish,Salt-fermented	0.0074
Granulated ark shell	0.0690
Jackknife	0.0270
Whelk,Kelletia lischkei	0.2217
Little neck clam	0.0112
Little neck clam,Dried	0.0564
Orient hard clam	0.0539
Sakhalin surf-clam	0.0170
Turban shell,Canned	0.0240
Marsh clam	0.0240
Abalone	0.0018
Pen shell	0.0190
Ark shell	0.0090
Hard-shelled mussel	0.0080
Crayfish,Mantis prawn	0.0300
Cuttle fish	0.0170

Food name	Mercury(mg/kg)
Urechis unicinctus	0.0000
Crab	0.0248
Beka squid	0.0240
Beka squid,Boiled and dried	0.0470
Common sea squirt	0.0100
Whip-arm octopus	0.0160
Common octopus	0.0428
Common octopus,Dried	0.1917
Warty sea squirt	0.0390
Shrimp	0.0152
Shrimp,Boiled and dried	0.0128
Common squid	0.0435
Common squid,Dried	0.0910
Common squid,Frozen	0.0713
Common squid,Smoked	0.1092
Webfoot octopus	0.0310
Sea cucumber	0.0350

Table 3-12. Mercury content of seaweeds

Food name	Mercury(mg/kg)
Laver,Raw	0.0005
Laver,Dried	0.0045
Sea tangle,Raw	0.0016
Sea tangle,Dried	0.0153
Seaweed fulvescens	0.0200
Sea mustard,Raw	0.0037
Sea mustard,Dried	0.0180
Sea mustard,Stem	0.0036
Seastaghorn,Raw	0.0000
Seastaghorn,Dried	0.0000
Seaweed fusiforme	0.0053
Seaweed fusiforme,Dried	0.0300
Sea lettuce	0.0024
Sea lettuce,Dried	0.0200

Table 3-13. Mercury content of milk & dairy products

Food name	Mercury(mg/kg)
Milk powder,Modified	0.0005
Milk	0.0002
Sherbet	0.0000
Ice cream	0.0003
Yoghurt,Liquid type	0.0004
Yoghurt,Curd type	0.0001

Table 3-14. Mercury content of oils

Food name	Mercury(mg/kg)
Butter	0.0009
Sesame oil	0.0005
Coffee creamer,Powder	0.0005
Soybean oil	0.0002
Grape seed oil	0.0009

Table 3-15. Mercury content of beverages & alcohols

Food name	Mercury(mg/kg)
Beverages,Vegetable beverages	0.0000
Beverages,Fruit beverages	0.0005
Beverages,Rice beverage	0.0008
Ion supply drink	0.0003
Beverages,Carbonated beverages	0.0004
Soda	0.0002
Coke	0.0004
Fruit liquor	0.0008
Takju (Korean turbid rice liquor)	0.0002
Beer	0.0002
Soju(Distilled liquor)	0.0002
Oriental herbal liquor	0.0002
Whisky	0.0002
Sake	0.0000
Teas,Dried	0.0000
Green tea,Dried,Powder	0.0860

Food name	Mercury(mg/kg)
Green tea,Dried,Infusion	0.0003
Fruit tea preserved with sugar	0.0010
Ginseng tea,Granule	0.0003
Coffee,Powder,Instant	0.0002
Coffee,Percolated	0.0005
Coffee,Canned	0.0002
Functional beverage	0.0000
Coffee,Coffee mix.	0.0003

Table 3-16. Mercury content of seasonings

Food name	Mercury(mg/kg)
Soy sauce	0.0003
Cinnamon powder	0.0120
Red pepper powder	0.0002
Gochujang,Fermented red pepper paste	0.0004
Sesame,Roasted and ground	0.0013
Doenjang,Soybean paste,Powdered	0.0007
Doenjang,Soybean paste	0.0004
Garlic,Powder	0.0018
Mayonnaise	0.0000
Cooking wine	0.0003
Seasoning powder	0.0074
Ginger,Powder	0.0023
Salt	0.0005
Vinegar	0.0001
Mixed soybean paste with red pepper paste	0.0004
Chili sauce	0.0000
Modified soybean sauce	0.0075
Seasoning paste	0.0001
Tomato ketchup	0.0003
Pepper,Ground	0.0068

Table 3-17. Mercury content of prepared foods

Food name	Mercury(mg/kg)
Mandu	0.0005
Curry	0.0000
Jajang,Retort pouched	0.0000

Table 3-18. Mercury content of other foods

Food name	Mercury(mg/kg)
Silkworm-Vegetable worms (Silkworm-Dongchunghacho) Paecilomyces japonica (tenuipes),Dried	0.0070
Ginseng	0.0025
Ginseng,Dried	0.0112
Red ginseng	0.0064
Red ginseng,Extract	0.0011
Propolis	0.0130

2. 구축된 데이터베이스의 완성도 평가

본 연구에서 구축된 데이터베이스를 2007-2009년도 국민건강영양조사 식품섭취조사 결과에 대입한 후, 각 식품군별로 총 식품에서 수는 함량 값이 존재하는 식품의 비율을 계산하여 데이터 완성도를 평가하였다 (Table 4). 총 702개의 식품 중 356개의 식품에 대한 수는 함량 값이 존재하여, 전체 식품 중 50.7%의 식품이 포함된 것으로 확인되었다. 반면, 대상자들의 식품섭취량을 기준으로 평가했을 때는, 섭취한 식품의 95.1%를 포함하였다. 즉, 식품수로 평가할 때는 데이터베이스가 미비하나, 섭취량으로 비교할 때 우리 국민이 보편적으로 섭취하고 있는 식품들은 대부분 포함하고 있는 것으로 평가되었다. 식품수로는 버섯류, 두류, 어패류의 완성도가 각각 85.7%, 73.9%, 73.2%로 높았으며, 종실류, 조리가공식품류, 유지류, 과일류의 경우 30% 미만의 완성도를 보였다. 섭취량으로는 종실류 (31.8%), 기타 (62.7%), 해조류 (77.1%), 당류 (79.1%), 조리가공식품류 (81.3%)를 제외한 모든 식품군에서 90% 이상의 완성도를 갖는 것으로 평가되었다.

Table 4. Database coverage for number and weight of food

Food group	Number of food			Weight of food		
	No. of food consumed	No. of food included	Coverage (%)	Wt. of food consumed (g/day/person)	Wt. of food included (g/day/person)	Coverage (%)
Grains	67	37	55.2	284.4	269.6	94.8
Potatoes & starch	13	7	53.8	34.3	32.8	95.8
Sugars	15	7	46.7	6.6	5.3	79.1
Legumes	23	17	73.9	34.6	33.8	97.7
Seeds and nuts	17	3	17.6	2.5	0.8	31.8
Vegetables	143	55	38.5	272.7	255.2	93.6
Mushrooms	14	12	85.7	3.8	3.8	99.9
Fruits	67	20	29.9	169.2	161.5	95.4
Meats	28	17	60.7	71.2	69.4	97.5
Eggs	4	2	50.0	21.0	20.9	99.9
Fishes & shellfishes	138	101	73.2	45.0	43.0	95.5
Seaweeds	24	14	58.3	5.4	4.1	77.1
Milk & dairy products	13	6	46.2	98.0	96.0	98.0
Oils	17	5	29.4	6.5	5.9	91.4
Beverages & alcohols	44	24	54.5	126.3	123.3	97.7
Seasonings	41	20	48.8	28.0	25.4	90.9
Prepared foods	14	3	21.4	5.6	4.6	81.3
Others	20	6	30.0	0.4	0.2	62.7
Total	702	356	50.7	1215.4	1155.7	95.1

3. 우리나라 국민의 식품을 통한 수은 노출량 평가

1) 대상자의 일반적 특성

수은 섭취량 추정 대상자의 일반적 특성은 Table 5과 같다. 총 34,953명의 대상자 중 남성이 43.1%, 여성이 56.9%로 여성의 비율이 더 높았으며, 연령별로는 20대의 비율이 10% 미만으로 가장 낮은 것을 제외하고 비교적 고르게 분포하였다.

2) 수은 섭취량 추정과 평가

대상자 34,953명으로부터 추정한 우리 국민의 1일 평균 수은 섭취량은 $3.3\mu\text{g}$ 이었으며, 단위체중당 수은 섭취량은 $0.057\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ 로 이는 PTDI의 10% 수준이다(Table 6).

성별, 연령별 수은 섭취량을 Table 7에 제시하였다. 우리나라 남성의 평균 수은 섭취추정량은 $3.95\mu\text{g}/\text{day}$, 여성의 평균 수은 섭취량은 $2.26\mu\text{g}/\text{day}$ 로 남성의 평균 수은 섭취량이 여성보다 모든 연령에서 통계적으로 유의하게 많았다. 연령별로는 남성은 50대, 여성은 40대에서 평균 섭취량이 가장 많았고, 단위체중당 수은 섭취량은 남성은 10세 미만, 50대, 40대 순으로, 여성은 10세 미만, 40대, 50대 순으로 많았다. PTDI 대비 섭취율은 남성은 11.08%, 여성은 8.89%로 남성이 여성에 비해 유의하게 높았다.

전체 대상자 34,953명 중 PTDI 이상으로 섭취한 사람은 175명이었으며, 우리나라 국민 중 PTDI 이상으로 섭취한 사람의 추정비율은 0.54%이었다. 우리나라 국민의 약 92%가 PTDI 25% 미만으로 수

은을 섭취하고 있는 것으로 나타났다 (Table 8).

Table 5. Distribution of the study subjects by sociodemographic characteristics

Characteristics	N	%
Total	34953	100.0
Sex		
Males	15078	43.1
Females	19875	56.9
Age		
<10	4967	14.2
10-19	4453	12.7
20-29	2737	7.8
30-39	4919	14.1
40-49	4791	13.7
50-59	4588	13.1
60-69	4404	12.6
≥ 70	4094	11.7
Household income		
Low	6334	18.1
Middle low	8837	25.3
Middle high	9851	28.2
High	9302	26.6
Non-response	629	1.8
Education		
Less than Elementary school	15229	43.6
Middle school	3927	11.2
High School	8590	24.6
Upper university	6706	19.2
Non-response	431	1.2
Smoking status		
Never	21386	61.2
Former	2181	6.2
Current smoker	7806	22.3
Light smoker	3049	8.7
Heavy smoker	4757	13.6
Non-response	3580	10.2

Table 6. Mercury exposure from food among Koreans

(N=34.953)	Mean	SE	Min	5th	25th	50th	75th	95th	Max
Total mercury intake ($\mu\text{g}/\text{day}$)	3.3	0.05	0.0	0.4	0.8	1.5	3.5	11.1	143.7
Mercury intake per body weight ($\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$)	0.057	0.001	0.000	0.008	0.016	0.028	0.063	0.192	3.455
% PTDI ¹⁾ of mercury	10.0	0.14	0.0	1.4	2.7	4.9	11.0	33.6	604.6

¹⁾ PTDI for mercury is $0.5714 \mu\text{g}/\text{kg} \text{ bw}/\text{day}$

Table 7. Mean intake level of mercury by sex and age group

Age (years)	Male										Female										p value by sex difference		
	Total mercury intake ($\mu\text{g}/\text{day}$)			Mercury intake per body weight ($\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$)			% PTDI of mercury			Total mercury intake ($\mu\text{g}/\text{day}$)			Mercury intake per body weight ($\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$)			% PTDI of mercury			Total intake	Intake per body weight	% PTDI		
	N	Mean	SE	p value	Mean	SE	p value	Mean	SE	p value	N	Mean	SE	p value	Mean	SE	p value	Mean				SE	p value
<10	2573	1.71	0.06		0.08	0.00		13.55	0.43		2394	1.43	0.04		0.07	0.00		12.41	0.39		<0.0001	<0.0001	<0.0001
10–19	2316	2.57	0.11		0.05	0.00		7.97	0.29		2137	2.11	0.09		0.04	0.00		7.53	0.28		<0.0001	0.2366	0.2366
20–29	1087	4.05	0.27		0.06	0.00		9.87	0.65		1650	2.57	0.14		0.05	0.00		8.10	0.41		<0.0001	0.0221	0.0221
30–39	1777	4.76	0.20	<0.0001	0.07	0.00	<0.0001	11.46	0.47	<0.0001	3142	2.89	0.09	<0.0001	0.05	0.00	<0.0001	9.00	0.28	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
40–49	1892	5.15	0.20		0.07	0.00		12.80	0.49		2899	3.36	0.11		0.06	0.00		10.06	0.33		<0.0001	<0.0001	<0.0001
50–59	1829	5.17	0.19		0.08	0.00		13.23	0.49		2759	3.12	0.13		0.05	0.00		9.40	0.39		<0.0001	<0.0001	<0.0001
60–69	1924	3.60	0.13		0.05	0.00		9.56	0.37		2480	2.64	0.11		0.05	0.00		8.00	0.35		<0.0001	0.0087	0.0087
≥70	1680	3.04	0.16		0.05	0.00		8.58	0.44		2414	1.92	0.08		0.04	0.00		6.20	0.24		<0.0001	0.0296	0.0296
Total	15078	3.95	0.08		0.06	0.00		11.08	0.20		19875	2.62	0.04		0.05	0.00		8.89	0.14		<0.0001	<0.0001	<0.0001

Table 8. Distribution of subjects by PTDI of mercury

Range of % PTDI ¹⁾	N	Weighted Proportion(%) ²⁾	Cumulative proportion(%)
% PTDI <25%	32065	91.64	91.64
25≤%PTDI<50%	2060	5.98	97.62
50≤% PTDI <75%	480	1.36	98.98
75≤% PTDI <100%	173	0.48	99.46
%PTDI≥100%	175	0.54	100.00
Total	34953	100.00	100.00

¹⁾ % PTDI=(Daily mercury intake)/(PTDI)

²⁾ Estimated proportion for whole Korean population in complex sample design

3) 식품 및 식품군별 수은 섭취 기여율

각 식품 및 식품군별 수은 1인 평균 섭취량을 계산하여, 각각의 수은 섭취에 대한 기여율을 계산하였다. 수은 섭취에 대한 기여율이 높은 식품군은 어패류가 73.4%로 가장 높았고, 곡류 및 그 제품이 12.5%, 채소류가 5.2%로 뒤를 이었다. 특히 어패류의 경우, 식품군 섭취량 기여율은 3.8%이지만, 수은 섭취 기여율은 73.4%로 식품 섭취 중량 대비 수은 섭취량이 매우 높았다 (Table 9).

수은 섭취 기여율이 높은 상위 30개 식품을 선별하였을 때, 백미, 배추김치, 무청, 참쌀 등 4개 식품을 제외하고 모두 어패류인 것으로 분석되었다. 상위 20개 식품으로 좁혔을 때는 식품 섭취량이 많아 기여율이 높았던 백미와 배추김치를 제외한 18개 식품이 모두 어패류였다. 섭취기여율이 가장 높은 식품은 고등어로 1인 평균 수

은 섭취량에 10% 기여하였으며, 다랑어, 백미, 오징어, 명태/동태가 뒤를 이었다 (Table 10)

Table 9. Contribution Rate to mercury intake by food groups

Rank	Food Groups	Food group intake		Mercury intake	
		Average intake(g/day)	Contribution rate(%)	Average intake(μ g/day)	Contribution rate(%)
1	Fishes & shellfishes	51.4	3.8	2.403	73.4
2	Grains	297.3	22.0	0.408	12.5
3	Vegetables	289.8	21.5	0.170	5.2
4	Fruits	170.1	12.6	0.074	2.3
5	Beverages & alcohols	188.3	14.0	0.051	1.6
6	Meats	87.7	6.5	0.043	1.3
7	Seaweeds	5.0	0.4	0.027	0.8
8	Legumes	37.1	2.8	0.023	0.7
9	Potatoes & starch	34.2	2.5	0.017	0.5
10	Milk & dairy products	102.9	7.6	0.016	0.5
11	Eggs	24.0	1.8	0.016	0.5
12	Seasonings	32.3	2.4	0.011	0.3
13	Mushrooms	4.3	0.3	0.007	0.2
14	Oils	7.7	0.6	0.003	0.1
15	Sugars	8.2	0.6	0.002	0.1
16	Prepared foods	5.8	0.4	0.001	0.0
17	Others	0.7	0.1	0.001	0.0
18	Seeds and nuts	2.7	0.2	0.001	0.0
	Total	1349.4	100.0	3.274	100.0

Table 10. Major contributing food to mercury intake

Rank	Food name	Food intake		Mercury intake	
		Average intake(g/day)	Contribution rate(%)	Average intake(μ g/day)	Contribution rate(%)
1	Mackerel	4.2	0.3	0.33	10.0
2	Tuna	1.0	0.1	0.29	8.9
3	Polished rice	178.1	13.2	0.29	8.7
4	Common squid	4.2	0.3	0.18	5.5
5	Alaska pollack	3.1	0.2	0.15	4.7
6	Fish paste	6.0	0.4	0.14	4.2
7	Hair tail	1.3	0.1	0.11	3.5
8	Tuna,Canned	1.9	0.1	0.09	2.7
9	Eel	1.2	0.1	0.08	2.4
10	Bastard halibut	1.2	0.1	0.08	2.3
11	Yellow croaker	2.0	0.1	0.07	2.2
12	Pacific saury	1.3	0.1	0.07	2.1
13	Common squid,Dried	0.7	0.1	0.07	2.0
14	Angler	0.6	0.0	0.06	2.0
15	Rock fish	0.7	0.1	0.05	1.6
16	Sea bream	0.4	0.0	0.05	1.4
17	Anchovy,Boiled and dried	2.4	0.2	0.04	1.3
18	Loach	1.0	0.1	0.04	1.2
19	Crab	1.4	0.1	0.03	1.0
20	Kimchi,Baechukim chi	75.1	5.6	0.03	1.0
21	Alaska pollack,Dried strip	0.4	0.0	0.03	1.0
22	Flat fish	0.5	0.0	0.03	0.9
23	Pacific cod	0.4	0.0	0.03	0.8
24	Fish,Salt-fermented	0.6	0.0	0.02	0.8
25	Whelk,Kellettia lischkei	0.3	0.0	0.02	0.7
26	Alaska pollack,Semi-dried	0.3	0.0	0.02	0.7
27	Radish leaves	5.2	0.4	0.02	0.6
28	Whip-arm octopus	1.2	0.1	0.02	0.6
29	Glutinous rice	0.2	0.0	0.02	0.5
30	Spanish mackerel	0.6	0.0	0.02	0.5

4) 수은 섭취 고위험군의 식품 및 식품군 섭취 특성

수은 섭취 고위험군의 식품 섭취 특성을 살펴보기 위하여, 대상자의 섭취량 분포에서 단위체중당 수은 섭취량이 95백분위수 이상인 대상자를 고위험군으로, 단위체중당 섭취량이 95백분위수 미만인 대상자를 정상섭취군으로 정의하였다. 수은 섭취 고위험군과 정상섭취군 사이에 섭취량에 차이가 있는 식품군과 식품을 분석하였을 때, 섭취량 차이가 가장 큰 식품군은 어패류로, 고위험군은 정상섭취군에 비해 식품군 섭취량으로는 약 6.5배, 식품군 내 수은 섭취량으로는 약 13배 이상 더 많이 섭취하고 있는 것으로 나타났다 (Table 11). 섭취 기여율이 높았던 상위 30개 식품을 대상으로 동일한 방법을 적용하여 고위험군과 정상섭취군 사이에 섭취량 차이가 존재하는 식품을 선별한 결과 30개 식품 중에서는 멸치, 배추김치, 어류젓, 무청, 찹쌀을 제외한 모든 식품에서 고위험군이 정상섭취군에 비하여 통계적으로 유의하게 많이 섭취한 것으로 나타났다 (Table 12).

Table 11. Food group intake and mercury intake by percentile classification

Food group	Food intake (g/day)					Mercury intake ($\mu\text{g/day}$)				
	<95 percentile consumer		\geq 95 percentile consumer		p value	<95 percentile consumer		\geq 95 percentile consumer		p value
	N=33,205		N=1,748			N=33,205		N=1,748		
	Mean	SE	Mean	SE		Mean	SE	Mean	SE	
Grains	297.8	1.3	286.6	4.6	0.0171	0.4077	0.0019	0.4079	0.0067	0.9759
Potatoes & starch	34.3	0.9	32.0	2.4	0.3774	0.0175	0.0004	0.0151	0.0010	0.0320
Sugars	8.1	0.1	10.9	0.5	<0.0001	0.0017	0.0000	0.0025	0.0001	<0.0001
Legumes	37.1	0.6	37.9	2.0	0.7206	0.0227	0.0004	0.0225	0.0013	0.9233
Seeds and nuts	2.7	0.1	4.2	0.6	0.0200	0.0006	0.0000	0.0008	0.0001	.
Vegetables	286.7	2.0	347.9	8.5	<0.0001	0.1678	0.0015	0.2168	0.0086	<0.0001
Mushrooms	4.3	0.1	4.3	0.4	0.9881	0.0072	0.0003	0.0079	0.0014	0.6061
Fruits	167.7	3.0	215.7	11.6	<0.0001	0.0733	0.0016	0.0946	0.0055	<0.0001
Meats	89.0	1.3	63.7	3.9	<0.0001	0.0436	0.0006	0.0324	0.0021	<0.0001
Eggs	24.1	0.4	22.2	1.3	0.1682	0.0163	0.0002	0.0152	0.0009	0.2289
Fishes & shellfishes	40.4	0.5	262.4	5.5	<0.0001	1.5143	0.0208	19.3717	0.4872	<0.0001
Seaweeds	4.8	0.2	7.0	0.6	0.0006	0.0263	0.0007	0.0339	0.0023	0.0012
Milk & dairy products	102.9	1.6	101.6	5.5	0.8183	0.0164	0.0003	0.0166	0.0010	0.8623
Oils	7.6	0.1	10.5	0.3	<0.0001	0.0025	0.0000	0.0036	0.0001	<0.0001
Beverages & alcohols	181.8	3.4	312.6	16.3	<0.0001	0.0497	0.0009	0.0765	0.0038	<0.0001
Seasonings	31.1	0.3	54.9	1.4	<0.0001	0.0106	0.0001	0.0192	0.0005	<0.0001
Prepared foods	5.8	0.3	5.6	1.1	0.8824	0.0011	0.0001	0.0010	0.0003	0.6469
Others	0.7	0.1	0.8	0.2	0.4797	0.0009	0.0001	0.0008	0.0002	0.4674

Table 12. Highly contributed food to mercury intake by percentile classification

Rank	Food name	Food intake (g/day)				p value
		<95 percentile consumer		≥95 percentile consumer		
		N=33,205		N=1,748		
		Mean	SE	Mean	SE	
1	Mackerel	2.9	0.1	29.3	2.5	<0.0001
2	Tuna	0.1	0.0	19.1	1.6	<0.0001
3	Polished rice	177.5	1.0	189.2	3.6	0.0017
4	Common squid	3.6	0.1	15.3	1.7	<0.0001
5	Alaska pollack	2.3	0.1	18.1	2.2	<0.0001
6	Fish paste	5.7	0.2	10.7	1.4	0.0003
7	Hair tail	1.0	0.1	7.4	1.1	<0.0001
8	Tuna,Canned	1.8	0.1	4.9	0.8	0.0002
9	Eel	0.4	0.1	16.2	2.2	<0.0001
10	Bastard halibut	0.2	0.0	19.6	1.9	<0.0001
11	Yellow croaker	1.8	0.1	6.5	1.2	<0.0001
12	Pacific saury	1.0	0.1	7.0	0.9	<0.0001
13	Common squid,Dried	0.6	0.0	2.5	0.4	<0.0001
14	Angler	0.2	0.0	8.7	1.5	<0.0001
15	Rock fish	0.2	0.0	11.1	1.4	<0.0001
16	Sea bream	0.1	0.0	5.8	1.2	<0.0001
17	Anchovy,Boiled and dried	2.4	0.0	2.6	0.2	0.2561
18	Loach	0.8	0.1	3.7	1.0	0.0050
19	Crab	1.1	0.1	6.8	1.5	0.0002
20	Kimchi,Baechukimchi	75.2	0.9	72.7	2.5	0.3364
21	Alaska pollack,Dried strip	0.4	0.0	1.2	0.2	0.0007
22	Flat fish	0.4	0.0	3.0	0.8	0.0006
23	Pacific cod	0.3	0.0	3.1	0.8	0.0004
24	Fish,Salt-fermented	0.6	0.0	0.8	0.2	0.1920
25	Whelk,Kelletia lischkei	0.2	0.0	2.7	1.2	0.0368
26	Alaska pollack,Semi-dried	0.2	0.0	2.8	1.2	0.0285
27	Radish leaves	5.1	0.2	6.8	1.5	0.2479
28	Whip-arm octopus	1.1	0.1	2.9	0.7	0.0133
29	Glutinous rice	6.8	0.2	6.5	0.5	0.5753
30	Spanish mackerel	0.5	0.1	1.7	0.5	0.0181

5) 식품 섭취와 수은 섭취의 관련성

수은 섭취 기여율이 가장 높았던 어패류를 비롯하여 곡류, 채소류가 수은 섭취량에 미치는 관련성의 크기를 파악하기 위하여 GLM (Generalized Linear Model) 분석을 실시하였다. 성, 연령, 소득수준 등의 인구학적 변수를 모델에 포함하여 보정한 후, 어패류, 곡류, 채소류의 섭취에 따른 단위체중당 수은섭취의 연관성을 살펴보았다. 그 결과 어패류의 경우 Figure 1과 같이 어패류 섭취량이 증가할수록 단위체중당 수은 섭취량이 증가하는 유의한 결과가 관찰되었으나, 곡류의 경우 경향성이 관찰되지 않았고 (Figure 2), 채소류의 경우 차이가 미미하지만, 섭취량이 증가할수록 단위체중당 수은 섭취량이 증가하는 경향이 나타났다 (Figure 3).

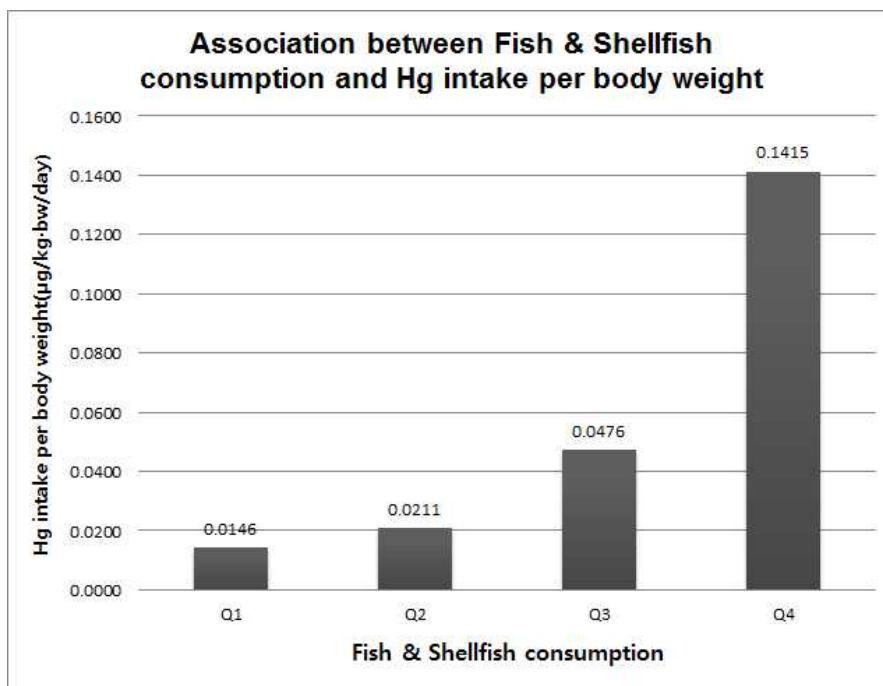


Figure 1. Association between fish and shellfish consumption and mercury intake per body weight

* p value for GLM is <0.0001.

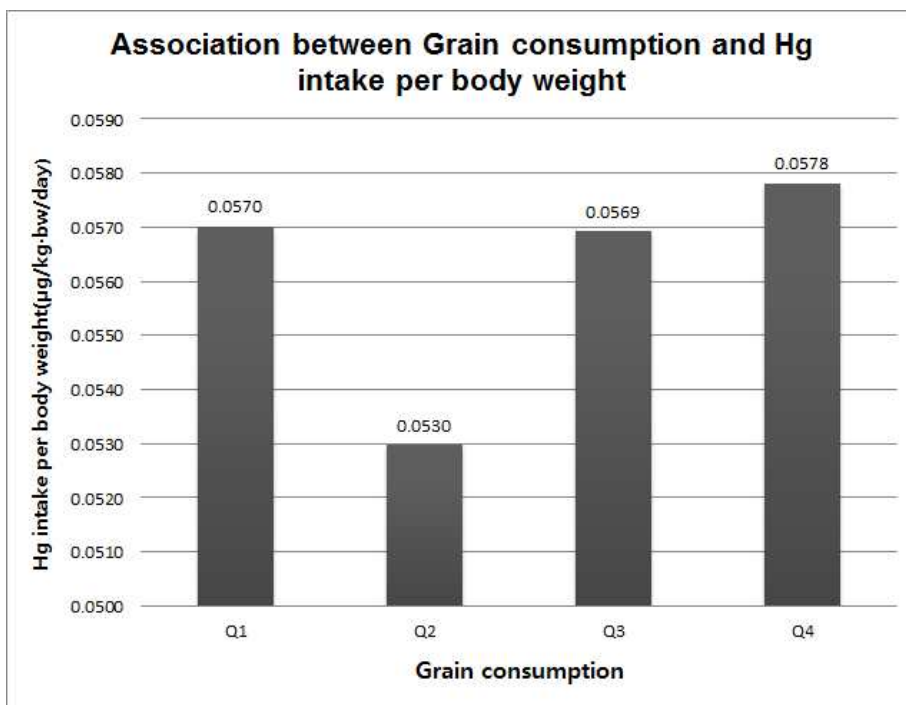


Figure 2. Association between grain consumption and mercury intake per body weight

* p value for GLM is 0.0002.

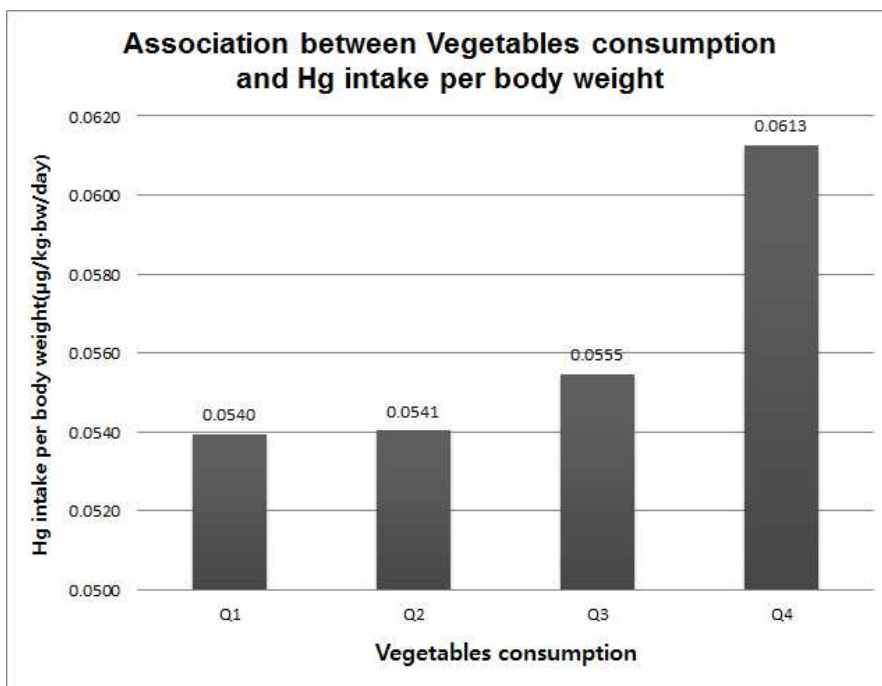


Figure 3. Association between vegetables consumption and mercury intake per body weight

* p value for GLM is <0.0001.

제 4장 고찰

본 연구에서는 한국인 상용 식품으로 대상으로 식품 중 수은 함량을 분석한 국내 문헌을 고찰하여 수은 함량 데이터베이스를 구축하고, 국민건강영양조사의 식품섭취조사 자료와 연계하여, 우리 국민의 식품을 통한 수은의 노출 특성을 평가한 결과, 어패류 섭취패턴이 수은 노출과 밀접한 관련성이 있음을 확인하였다.

본 연구에서 구축한 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스는 국내에서 발표된 자료 중 가장 많은 식품수를 포함하였다. 식품 중 수은 함량은 토양과 물 등 지역환경의 오염 정도에 매우 큰 영향을 받으므로, 한국인의 식품으로 인한 수은 노출 수준을 평가하기 위한 데이터베이스는 국내에서 생산·유통되는 식품을 분석한 국내 문헌을 대상으로 하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 발표된 문헌의 자료를 기본적으로 사용하였다. 수은 함량 값이 보고되지 않은 식품에 대해서는 원재료는 동일하나, 수분 함량의 차이가 있는 식품에 한하여서 환산계수를 적용하여 대체값을 산출하였으며, 유사식품에는 대체값을 적용하지 않았다. 이러한 방법은 데이터베이스의 정확도를 높이지만, 완성도를 높이지 못한다는 단점이 있다.

수은 데이터베이스의 완성도를 평가해 보았을 때, 인당 1일 평균 섭취량 측면에서는 섭취량의 95% 이상을 충족시키는 것으로 평가되어, 매우 우수하다고 할 수 있으나, 식품수의 측면에서는 50%를 약간 상회하는 수준으로 식품 수의 보완이 필요하다고 할 수 있다. 미국 보건복지부 독성물질 질병등록국 (U.S. Department of Health and Human service, Public Health Service, ASTDR ; Agency for Toxic Substances and Disease Registry)이 발표한 보고서에 따르

면 여러 국가의 총 식이조사 (TDS)를 분석한 결과, 식품으로 인한 수은 노출은 어패류의 섭취가 가장 주요한 수은의 급원이며, 수은 노출 수준이 어패류 섭취량에 따라 달라지는 것을 확인하였다. 국내 연구도 이와 마찬가지로, Kim(2011)은 2005년 우리나라 국민건강영양조사 결과, 혈중 수은 농도가 어패류 섭취 빈도에 따라 증가하는 것으로 보고하였다. 어패류를 1주 1회 이상 섭취하는 사람은 그렇지 않은 사람에 비해 혈중 수은 농도가 유의하게 높은 것으로 나타났다. 이런 관점에서, 본 연구에서 구축된 데이터베이스에서 어패류의 완성도는 식품수로 73.2%, 섭취량으로는 95.5%를 포함하는 것으로 평가되어, 수은의 주요급원인 어패류를 통한 수은 섭취 수준을 비교적 정확하게 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 대상자가 섭취한 모든 식품의 수은 함량 값을 구할 수 없었고, 대체값 조차 적용하지 못한 식품들이 있어서, 이들 식품을 통한 수은 섭취량을 추정할 수 없으므로, 본 연구에서 구축된 데이터베이스를 이용하여 수은 섭취량을 추정할 때에는 과소평가의 가능성이 있다.

수은 데이터베이스에서 식품 중 수은 함량은 문헌에 제시된 평균값(mean)을 이용하였으므로, 우리 국민의 식품을 통한 수은 섭취량도 평균값을 근거로 추정되었다. 그러나 식품 중 수은 함량은 일정한 범위에 따라 분포하므로 평균값을 이용한 수은 섭취량 추정은 점추정으로써의 한계를 가진다. 즉, 평균값 이상의 수은을 함유하고 있는 식품의 섭취에 따른 위해도의 영향을 제대로 평가하지 못하는 단점이 있었다. 위해성 평가에서 평균값과 같은 대표 오염치를 사용하는 것을 중앙경향노출 (CTE; Cental Tendency Exposure)라고 하며, 이보다 더 보수적으로 사용되는 대표 오염치는 최적최대노출

(RME; Reasonable Maximum Exposure)로 대상집단에서 발생 가능한 최대 노출수준을 의미한다. 식품을 통한 수은 노출 위해성 평가에서 이 최적최대노출을 이용하지 않음으로써 덜 보수적인 노출 평가를 하게 되었다. 이는 본연구에서 이용한 데이터베이스 구축 방법의 특성상 문헌에 제시된 수치만을 이용할 수 있어, 식품 중 수은 함량의 범위를 획득하는 데에 제한이 있었기 때문이다. 추후, 식품 중 수은 함량을 분석하여 범위를 제시한 문헌이 누적될 경우, 식품 중 수은 함량값의 범위에 따른 노출량 분석이 가능해지리라 생각된다.

본 연구에서는 PTWI를 이용하여 식품으로 인한 수은 섭취 위험도를 평가하였는데, PTWI는 일생동안 섭취하여도 건강상 유해한 작용을 일으키지 않는다고 판단되는 체중 1kg당 주간 섭취한계량이다. 대상 자료인 국민건강영양조사 자료의 특성상 대상자들의 1일치 섭취량으로 평가할 수밖에 없어 PTDI (Provisional Tolerable Daily Intake)로 환산하여 위험도를 평가하였다. 대상자들의 1일치 식사로 평가한 것이므로, 대상자 개개인의 일상적인 식생활을 대표할 수 없다는 제한점이 있으나, 대상자의 수가 약 35,000명으로, 우리 국민의 평균적인 식생활을 대표할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 성, 연령, 소득수준 및 곡류, 채소류의 섭취수준을 보정한 상태에서 어패류 섭취량에 따른 단위체중 당 수은 섭취량을 계산하였을 때, 어패류 섭취수준이 증가할수록 단위체중 당 수은 섭취량이 증가하는 것으로 나타났다. 미국 환경청 (US Environmental Protection Agency)은 일반인에서 메틸수은에 노출되는 주요한 경로는 오염된 어류의 섭취이며 (EPA, 1997; Stern, 1993; Swedish EPA, 1991; WHO, 1990), 육류와 곡류의 총 수은 농도는 어류에 비

해 수백 배 낮은 것으로 보고했다 (EPA, 1997; Swedish EPA, 1991). 또한 어류를 제외한 대부분의 식품 내 수은 함량은 검출한계 (Detection limits) 값에 가까우며, 대부분 체내 활성도가 낮은 무기 수은으로 이루어져 있음이 밝혀졌다 (WHO, 1990).

2012년도 유해물질 총 식이조사 (TDS, Total Diet Study) 연구에서 2008~2010년도 국민건강영양조사 영양조사부문 원시자료에 등장한 734종 식품을 대표식품 167종에 대응 (Mapping)시켜, 수은 분석치와 연계하여 개인별 수은 총 섭취량을 산출한 결과, 수은의 평균 섭취량은 $0.069\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ 으로 PTWI의 12.15%로 나타났다. 본 연구에서 2007~2012년도 국민건강영양조사자료와 식품 중 수은 함량 데이터베이스를 연계하여 산출한 우리 국민의 수은 평균 섭취량은 $0.057\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ 로 이는 PTWI의 10% 수준이었다. 대응 (Mapping) 방법에 의해 추정된 수은 노출량은 본 연구에서 추정된 값에 비해 높게 나타났으나, 이는 분석된 일부 대표식품(167개)의 수은 함량치를 500개 이상의 다른 식품에 유사성을 고려하여 적용하여 추정된 값이므로, 일부 식품의 경우, 수은 함량을 과다 추정하게 되었을 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 이 추정 값은 실제 전체식품을 통해 우리 국민이 노출되는 중금속 양과는 차이가 있을 수 있다. 본 연구에서 사용한 데이터베이스의 경우, 수분 함량이 달라 환산계수를 적용하여 대체값을 적용한 것을 제외하고는 정확히 식품명이 동일한 경우만을 고려하여 구축된 데이터베이스이며, 2007-2009년 국민건강영양조사 자료에서 우리 국민이 섭취한 식품의 중량 대비 95% 이상을 포함하는 완성도를 나타내고 있어, 노출량 평가의 정확도 측면에서 좀 더 우수할 것으로 생각된다.

본 연구에서 구축된 식품 중 수은 함량 데이터베이스는 향후, 우리

국민의 식품을 통한 수은 섭취량을 추정하는 데 이용될 수 있으며, 본 연구의 데이터베이스 구축 방법론은 추후 식품을 통해 노출되는 다른 유해물질의 식품 중 함량 데이터베이스를 구축하는 데 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

제 5장 요약 및 결론

본 연구는 한국인 상용 식품 중 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위하여, 2007-2009년 국민건강영양조사의 식품섭취량 조사 결과를 기반으로 대상 식품을 선정하였으며, 국내에서 발표된 식품 중 수은 함량을 분석한 문헌을 고찰하여 수은 함량 값을 수집하였다. 또한 식재료의 수분함량 차이를 고려하여 대체값을 적용하였으며, 데이터베이스의 완성도는 식품수로 50.7%, 1인당 1일 평균 섭취중량으로는 95.1%로서 완성도가 매우 우수한 한국인 상용 식품 중 수은 데이터베이스가 구축되었음을 확인할 수 있었다.

우리 국민의 식품을 통한 수은 노출 수준을 평가하기 위하여 국민건강영양조사 4·5기 (2007-2011년)의 24시간 회상법 자료와 앞서, 구축된 한국인 상용식품 중 수은 데이터베이스를 연계하여 분석하였다. 34953명의 대상자로부터 추정한 우리 국민의 1일 평균 수은 섭취량은 $3.3\mu\text{g}$ 이었으며, 단위체중당 수은 섭취량은 $0.057\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ 로 이는 PTDI의 10% 수준이었다. 남성의 평균 수은 섭취량이 여성보다 모든 연령에서 통계적으로 유의하게 많았다. 우리나라 국민 중 PTDI 이상으로 섭취한 사람의 추정비율은 0.54%였으며, 우

리나라 국민의 약 92%가 PTDI 25% 미만으로 수은을 섭취하고 있는 것으로 나타났다. 수은 섭취에 대한 기여율이 높은 식품군은 어패류가 73.4%로 가장 높았고, 곡류와 채소류가 뒤를 이었다. 특히 어패류의 경우, 식품군 섭취량 기여율은 3.8%이지만, 수은 섭취 기여율은 73.4%로 식품 섭취 중량 대비 수은 섭취량이 매우 높았다. 수은 섭취 기여율이 가장 높았던 어패류를 비롯하여 곡류, 채소류가 수은 섭취량에 미치는 관련성의 크기를 파악하기 위하여 분석을 실시한 결과, 어패류 섭취량이 증가할수록 단위체중당 수은 섭취량이 증가하는 유의한 결과가 관찰되었다.

본 연구에서 구축된 식품 중 수은 함량 데이터베이스는 향후, 우리나라 국민의 식품을 통한 수은 섭취량을 추정하는 데 이용될 수 있으며, 본 연구의 데이터베이스 구축 방법론은 추후 식품을 통해 노출되는 다른 유해물질의 식품 중 함량 데이터베이스를 구축하는 데 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 고명진, 이진하, 박은희, 박상욱, 김인경, 지영애. (2012). 국내 유통 중인 채소류의 중금속 모니터링. 한국식품위생안전성학회지, 27(4), 456-460.
- 김미혜, 김정수, 소유섭, 정소영, 이종옥. (2003). 여러 가지 식품중 중금속 함량에 관한 연구. 한국식품과학회지 [KCI 등재] 제, 35(4), 561-567.
- 김미혜, 이운동, 박효정, 김은정, 이종옥. (2004). 유통 갑각류 중 중금속 함량. 한국식품과학회지, 36(3), 375-378.
- 김미혜, 이운동, 박효정, 박성국, 이종옥. (2005). 국내 유통 두부류 및 묵류 중 중금속 함량. 한국식품과학회지, 37(1), 1-5.
- 김미혜, 정소영, 소유섭, 김명철, 김창민. (2001). 칼슘, 키토산, 프로폴리스 건강보조식품중 중금속 모니터링을 통한 납기준 제정. 한국식품과학회지, 33(5), 525-528.
- 김지희, 임치원, 김평중, 박정흠. (2003). 원보: 우리나라 남해안산 패류의 중금속 함량. 한국식품위생안전성학회지, 18(3), 125-132.
- 김초일. (2011). 유해물질 총 식이조사(Total Diet Study) 기획연구. 식품의약품안전평가원 연구보고서.
- 김초일. (2012). 유해물질 총 식이조사(Total Diet Study) 연구. 식품의약품안전평가원 용역연구개발과제최종보고서.
- 김희연, 김서영, 김진철, 이진하, 장영미, 이명숙, 이광호. (2007). 유통 중인 어류의 중금속 모니터링-비소, 카드뮴, 구리, 납, 망간, 아연, 총수은. 한국식품과학회지, 39(4), 353-359.

- 노기미, 강경모, 백승립, 최훈, 박성국, 김동술. (2010). 국내 유통 주류 중 중금속 실태조사. 한국식품위생안전성학회지, 25(1), 24-29.
- 문주석 (2002). 한국인의 대표식단 중 오염물질 섭취량 및 위험도 평가. 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서
- 문주석 (2003). 한국인의 대표식단 중 오염물질 섭취량 및 위험도 평가. 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서
- 박석기. (2009). 건포류의 수은, 납, 카드뮴 및 비소 함유량. 분석과학, 22(4), 336-344.
- 박선오 (2006). 한국인의 대표식단 중 오염물질 섭취량 및 위험도 평가(총 식이조사). 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서
- 박희연. (2005). 한국 연안 해조류의 미량금속 함량. 한국식품영양학회지, 34(7), 1041-1051.
- 식품의약품안전청, 한국소비자보호원. (2005). 식품 오염물질 실태조사 및 안전관리. [서울]: 식품의약품안전청.
- 유춘철, 김덕웅. (2005). 국내에서 시판 중인 몇몇 채소류의 중금속에 관한 조사 연구. 한국식품영양학회지, 18(3), 254-264.
- 이미경, 박정숙, 임현철, 나환식. (2008). 유통 한약재의 중금속 함량 조사. 한국식품저장유통학회지 (구 농산물저장유통학회지), 15(2), 253-260.
- 이선희. (2008). GC-ECD 를 이용한 심해성 어류 중 총수은 및 메틸수은 모니터링. 창립 20 주년 제 41 회 한국분석과학회 추계학술대회 초록집, 258~ 258 쪽 (총 1 쪽).
- 정소영, 김미혜, 김정수, 홍무기, 이종욱, 김창민. (2002). 우리나라 당류의 중금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품과학회지, 34(6),

992-997.

정소영, 김정수, 김은정, 박성국, 김미혜, 홍무기, 이종옥. (2003). 우리나라 다류의 중 금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품과학회지, 35(5), 812-817.

주현진, 노미정, 유지현, 장영미, 박종석, 강명희, 김미혜. (2010). 다 소비 수산식품중 총수은및 메틸수은 모니터링. 한국식품과학회지 [KCI 등재] 제, 42(3), 269-276.

질병관리본부 (2007). 국민건강영양조사 제4기 1차년도(2007).

질병관리본부 (2008). 국민건강영양조사 제4기 2차년도(2008).

질병관리본부 (2009). 국민건강영양조사 제4기 3차년도(2009).

질병관리본부 (2010). 국민건강영양조사 제5기 1차년도(2010).

질병관리본부 (2011). 국민건강영양조사 제5기 2차년도(2011).

최달웅 (2007). 한국인의 대표식품 중 오염물질 섭취량 및 위험도 평가(총 식이조사). 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서

최달웅 (2009a). 식품을 통한 중금속 섭취량 및 위험도 평가 (TDS). 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서

최달웅 (2009b). 한국인의 대표식품 중 오염물질 섭취량 및 위험도 평가 (총 식이조사). 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서

최순남, 정남용. (2003). 연구논문: 서류 및 구근류의 중금속 함량. 한국식품조리과학회지, 19(2), 223-230.

최종덕, 정인권. (2005). 원보: 통영연근해역 양식산 및 자연산 어류 중의 미량금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품위생안전성학회지, 20(4), 205-210.

함희진. (2002). 원보: 서울시내 수산 시장에서 유통되는 수산물의 유해성 중금속 (Hg, Cd 및 Pb) 분포에 관하여. 한국식품위생안

- 전성학회지, 17(3), 146-151.
- 허수정, 김미혜, 박성국, 이종옥. (2005). 인삼 및 인산제품류의 중금속 함량. 한국식품과학회지, 37(3), 329-333.
- 홍무기. (2000a). 우리나라 곡류, 두류 및 서류중 중금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품영양과학회지, 29(3), 364-368.
- 홍무기. (2000b). 우리나라 어패류중 미량금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품영양과학회지, 29(4), 549-554.
- 홍무기. (2001). 우리나라 채소류중 미량금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품영양과학회지, 30(1), 32-36.
- ATSDR, U. (1999). Toxicological profile for mercury. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services.
- Bhagwat, S. A., Patterson, K. Y., & Holden, J. M. (2009). Validation study of the USDA's Data Quality Evaluation System. Journal of food composition and analysis, 22(5), 366-372.
- Chung, S.-Y., Kim, M., Kim, J., Hong, M., Lee, J., & Kim, C. (2002). Trace Metal Contents in Sugar Products and Their Safety Evaluations. KOREAN JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 34(6), 992-997.
- Clarkson, T. W. (1993). Mercury: major issues in environmental health. Environmental Health Perspectives, 100, 31.
- Harada, M. (1978). Congenital Minamata disease: intrauterine methylmercury poisoning. Teratology, 18(2), 285-288.
- Harada, M. (1995). Minamata disease: methylmercury poisoning in

- Japan caused by environmental pollution. *CRC Critical Reviews in Toxicology*, 25(1), 1-24.
- Hassett-Sipple, B., Swartout, J., & Schoeny, R. (1997). Mercury study report to Congress. Volume 5. Health effects of mercury and mercury compounds: Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (United States). Office of Air Quality Planning and Standards.
- Hightower, J. M., O'Hare, A., & Hernandez, G. T. (2006). Blood mercury reporting in NHANES: identifying Asian, Pacific Islander, Native American, and multiracial groups. *Environmental Health Perspectives*, 114(2), 173.
- Keating, M. H., Mahaffey, K. R., Schoeny, R., Rice, G., & Bullock, O. (1997). Mercury study report to Congress. Volume 1. Executive summary: Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (United States). Office of Air Quality Planning and Standards.
- Kim NS, & Lee BK. (2011). National estimates of blood lead, cadmium, and mercury levels in the Korean general adult population. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 84(1), 53-63.
- Marsh, D. O., Clarkson, T. W., Cox, C., Myers, G. J., Amin-Zaki, L., & Al-Tikriti, S. a. (1987). Fetal methylmercury poisoning: relationship between concentration in single strands of maternal hair and child effects. *Archives of neurology*, 44(10), 1017.

- Son JY, Lee J, Paek D. & Lee, JT. (2009). Blood levels of lead, cadmium, and mercury in the Korean population: results from the Second Korean National Human Exposure and Bio-monitoring Examination. *Environmental research*, 109(6), 738-744.
- Stern, A.H. (1993). Reevaluation of the reference dose for methylmercury and assessment of current exposure levels. *Risk Anal.* 13(3), 355-364.
- Swedish EPA. (1991). *Mercury in the Environment: Problems and Remedial Measures in Sweden*. ISBN 91-620-1105-7.
- U.S. EPA. (1991). *Guidelines for Developmental Toxicity Risk Assessment*. Federal Register. 56:63798-63826. (December 5)
- WHO (World Health Organization). (1990). *Methyl mercury*. Vol. 101. Geneva, Switzerland: World Health Organization, International Programme on Chemical Safety.

Abstract

Development of Mercury Database for commonly consumed Food by Koreans and Assessment of Dietary Exposure to Mercury among the Korean Population

Seong-Ah Kim

Public Health Nutrition

The Graduate School of Public Health

Seoul National University

This study was aimed to develop mercury database for commonly consumed food by Koreans and assess dietary exposure to mercury among the Korean population linking mercury database with the dietary survey data from Korean National Health and Nutritional Examination Survey (KNHANES).

Target foods for mercury database were selected from KNHANES dietary survey data based on 2007–2009. The mercury contents of foods were collected through the literature review. The developed mercury database covered 50.7% of all kind of foods and 95.1% of food intake as reported by 2007–2009 KNHANES. The estimated average daily intake of mercury of Korean people was $3.3\mu\text{g}$, $0.057\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ (10% of

Provisional Tolerable Daily Intake (PTDI)), 0.54% of subjects had mercury intake more than PTDI, and 92% of subjects consumed less than 25% of PTDI. Among food groups, fishes and shellfishes was the most dominant source of dietary mercury exposure whose contribution rate was 73.4%. The more people eat fishes and shellfishes, the more mercury exposures per body weight are.

The developed mercury database can be used to estimate the dietary exposure to mercury of Korean people, and the method for developing mercury database would help researcher to develop database of other hazardous substances exposed to food.

Keywords : mercury intake, database, exposure assessment

Student Number : 2012-21886

감사의 글

석사학위 과정동안 학업과 연구를 잘 해낼 수 있도록 도와주신 모든 분들께 감사드립니다. 부족한 저를 예쁘게 봐주시고, 더 잘 할 수 있도록 이끌어주신 정효지 교수님, 항상 감사드립니다. 꼼꼼하게 논문 지도해 주신 정해원 교수님, 생소한 분야에 대해 한발짝 다가설 수 있도록 지도해 주신 최경호 교수님께 감사드립니다.

생각해 보면, 너무 정신없이 지나간 2년 동안 곳곳이 버틸 수 있게 든든한 지원군이 되어주신 부모님께 감사드립니다. 무뚝뚝한 딸이라 표현 잘 못하는 점 이해해주세요. 집보다 더 오래 시간을 머물렀던 보건영양연구실에서 함께 웃고 울어준 연구실 선생님들께 감사드립니다. 힘든 시간도 많았지만 늘 옆에 해주셔서 버틸 수 있었습니다. 나의 일을 자신의 일처럼 여기고 함께 고민하고 격려해 준 친구들에게 감사의 말을 전합니다.

대학원에서 만난 모든 소중한 저의 인연들께 감사합니다. 언제 어디서건 늘 최선을 다하겠습니다.

2014년 1월

김성아 올림



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

보건학석사 학위논문

한국인 상용식품 중 수은 함량
데이터베이스 구축 및 식품으로
인한 수은 노출수준 평가

(Development of Mercury Database for
commonly consumed food items among
Korean population and Assessment of
Dietary Mercury Intake)

2014년 2월

서울대학교 보건대학원
보건학과 보건영양학 전공
김 성 아

한국인 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스 구축 및 식품으로 인한 수은 노출수준 평가

(Development of Mercury Database for
commonly consumed food items among
Korean population and Assessment of
Dietary Mercury Intake)

지도교수 정 효 지

이 논문을 보건학석사 학위논문으로 제출함

2014년 2월

서울대학교 보건대학원

보건학과 보건영양학 전공

김 성 아

김성아의 석사학위논문을 인준함

2014년 2월

위 원 장 정 해 원 (인)

부 위 원 장 최 경 호 (인)

위 원 정 효 지 (인)

국 문 초 록

수은은 중독될 경우 주로 신경계와 신장, 태아의 발달 과정에 심각한 영향을 미치며, 호흡기계, 심혈관계, 위장관계, 혈액, 면역계, 생식기계에 위해를 줄 수 있다. 일반인에서 수은에 노출되는 가장 주된 경로는 식품을 통한 섭취이므로 우리 국민의 식품을 통한 수은 섭취량을 평가하는 것은 위해도 평가에 있어 매우 기본적이며 중요한 자료가 될 수 있다. 그러나 식품 중 수은 함량 데이터베이스에 대한 국내의 공식적인 발표 자료가 현재로써는 없기 때문에 섭취량의 추정이 용이하지 않다. 이에 본 연구에서는 우리 국민의 식품으로 인한 수은의 노출수준을 평가하기 위해 한국인 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스를 구축하여, 식품섭취량 자료와 연계함으로써 우리 국민의 수은 섭취량을 추정하고 그 역학적 특성을 파악하고자 하였다.

한국인 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위하여 2007-2009년 국민건강영양조사 식품섭취량 조사 결과를 기반으로 대상 식품을 선정하였으며, 국내에서 발표된 식품 중 수은 함량을 분석한 문헌을 고찰하여 수은 함량 값을 수집하였다. 식재료의 수분 함량 차이를 고려하여 대체값을 적용하였으며, 데이터베이스의 완성도는 식품수로는 50.7%, 1인당 1일 평균 섭취중량으로는 95.1%로서 한국인 상용식품을 대상으로 구축된 수은 데이터베이스의 완성도가 매우 우수함을 확인하였다.

우리 국민의 식품을 통한 수은 노출수준을 평가하기 위하여 2007-2011년 국민건강영양조사의 24시간 회상법 자료와, 앞서 구축된 한국인 상용식품 중 수은 데이터베이스를 연계하여 분석하였다.

34,953명의 대상자로부터 추정된 우리 국민의 1일 평균 수은 섭취량은 $3.3\mu\text{g}$ 이었으며, 단위체중당 수은 섭취량은 $0.057\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ 로 이는 잠정주간섭취한계량(PTWI : Provisional tolerable weekly intake)으로부터 환산한 PTDI(Provisional tolerable daily intake)의 10% 수준이었다. 우리나라 국민 중 PTDI 이상으로 섭취한 사람의 추정비율은 0.54%였으며, 우리나라 국민의 약 92%가 PTDI의 25% 미만으로 수은을 섭취하고 있는 것으로 나타났다. 수은 섭취에 대한 기여율이 높은 식품군은 어패류가 73.4%로 가장 높았고, 수은 섭취 기여율이 가장 높았던 어패류를 비롯하여 곡류, 채소류가 수은 섭취량에 미치는 관련성의 크기를 파악하기 위하여 분석을 실시한 결과, 어패류 섭취량이 증가할수록 단위체중당 수은 섭취량이 증가하는 유의한 결과가 관찰되었다.

본 연구에서 구축된 식품 중 수은 함량 데이터베이스는 향후, 우리 국민의 식품을 통한 수은 섭취량을 추정하는 데 이용될 수 있으며, 본 연구의 데이터베이스 구축 방법론은 추후 식품을 통해 노출되는 다른 유해물질의 식품 중 함량 데이터베이스를 구축하는 데 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 수은 섭취, 데이터베이스, 노출 평가

학 번 : 2012-21886

목 차

제 1장 서론	1
제 2장 연구내용 및 방법	5
제 3장 연구결과	10
제 4장 고찰	42
제 5장 요약 및 결론	46
참고문헌	48
Abstract	54

표 목 차

Table 1. Example of data description for mercury database construction	12
Table 2. Literature sources for mercury content of food mainly consumed among Koreans	13
Table 3-1. Mercury content of grains	13
Table 3-2. Mercury content of potatoes & starch	14
Table 3-3. Mercury content of sugars	15
Table 3-4. Mercury content of legumes	15
Table 3-5. Mercury content of seeds and nuts	16
Table 3-6. Mercury content of vegetables	16
Table 3-7. Mercury content of mushrooms	17
Table 3-8. Mercury content of fruits	18
Table 3-9. Mercury content of meats	19
Table 3-10. Mercury content of eggs	19
Table 3-11. Mercury content of fishes & shellfishes	19
Table 3-12. Mercury content of seaweeds	22

Table 3-13. Mercury content of milk & dairy products	23
Table 3-14. Mercury content of oils	23
Table 3-15. Mercury content of beverages & alcohols	23
Table 3-16. Mercury content of seasonings	24
Table 3-17. Mercury content of prepared foods	25
Table 3-18. Mercury content of other foods	25
Table 4. Database coverage for number and weight of food	27
Table 5. Distribution of the study subjects by sociodemographic characteristics	29
Table 6. Mercury exposure from food among Koreans	30
Table 7. Mean intake level of mercury by sex and age group ..	31
Table 8. Distribution of subjects by PTDI of mercury	32
Table 9. Contribution Rate to mercury intake by food groups ..	33
Table 10. Major contributing food to mercury intake	34
Table 11. Food group intake and mercury intake by percentile classification	36
Table 12. Highly contributed food to mercury intake by percentile classification	37

그 립 목 차

Figure 1. Association between fish and shellfish consumption and mercury intake per body weight 39

Figure 2. Association between grain consumption and mercury intake per body weight 40

Figure 3. Association between vegetables consumption and mercury intake per body weight 41

제 1장 서론

1. 연구배경 및 필요성

1) 수은의 위해성 및 주요 노출 경로

수은은 거의 모든 어류와 갑각류 동물에서 발견되는 중금속으로, 오염된 바다나 호수에 사는 생물에게 축적되어 생물농축의 주범으로 여겨진다. 태아기에 수은에 노출될 경우 태아의 신경계 발달에 부정적인 심각한 영향을 미치며, 일반인의 경우에는 신경계, 신장, 호흡기계, 심혈관계, 위장관계, 혈액, 면역계, 생식기계에 위해를 줄 수 있는 것으로 보고되고 있다 (US Environmental Protection Agency, 1997). 태아의 경우 성인에 비해 그 민감도가 5-10배 더 커서 (Clarkson, 1993), 자궁 내에서 수은에 다량 노출될 경우, 모체에서 그 독성이 나타나지 않는 경우에도, 출생한 영아에게는 신경발달 지연 등의 부작용이 나타날 수 있다 (Harada, 1978 & Marsh et al., 1987). 수은 중독으로 인한 건강 위해는 1956년 일본의 구마모토 현의 미나마타 시에서 메틸수은이 포함된 조개 및 어류를 섭취한 주민들에게서 집단적으로 신경학적 이상 징후가 발생한 사례 (Harada, 1995)를 통해 확인할 수 있었으며, 2000년까지 2264명의 환자가 보고되었다.

일반적으로 사람이 수은에 노출되는 경로는 대기로부터의 호흡, 수은에 오염된 식수나 식품의 섭취, 치과나 의료 치료를 통한 노출 등이 있다. 직업적으로 노출되는 경우를 제외하고 수은에 노출되는 가

장 주된 경로는 식품을 통한 섭취이다 (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999).

2) 우리나라 국민의 수은노출 수준

국내에서 시행되고 있는 대규모 환경역학조사 결과, 우리나라 국민의 혈중 수은 농도는 Human Biological Monitoring (HBM)¹⁾ 독일의 CHBM (Commision of Human Biological Monitoring : 독일연방 환경부 소속 인체모니터링 위원회)에서 제시한 인체 무영향 한계 농도 기준

기준보다는 훨씬 낮지만, 다른 인구집단을 대상으로 한 연구 결과에 비해 높은 것으로 나타났다. 모든 인종 중에 아시아 인종에서 혈중 수은 농도가 높게 측정되고 있는 것은 해산물 섭취가 많기 때문인 것으로 보고되고 있으며 (Hightower et al., 2006), 우리나라에서 혈중 수은농도가 높은 것도 이 때문인 것으로 추정된다 (Son et al., 2009).

2005년에 수행된 3기 국민건강영양조사에서 1997명의 한국인을 대상으로 혈중 수은농도를 측정한 결과, 우리나라를 대표하는 표본 집단의 혈중 수은의 평균농도는 4.15µg/L였다. 이는 인체 무영향 한계 농도인 HBM I 값인 5µg/L보다 낮은 수준으로, 여성이 남성보다 혈중 수은농도가 유의하게 낮았고, 40세 이상인 집단이 40세 미만인 집단에 비하여 유의하게 높은 수준이었다. 또한 알코올 비섭취자보다 섭취자에서 더 높았으며, 어류 섭취 빈도에 따라 혈중 수은 농도

1) 독일의 CHBM (Commision of Human Biological Monitoring : 독일연방 환경부 소속 인체모니터링 위원회)에서 제시한 인체 무영향 한계 농도 기준

가 증가하는 것으로 나타났다 (Kim & Lee, 2011).

3) 식품으로 인한 수은 노출 평가의 필요성

산업 발달은 경제 발전 뿐 아니라 사회·문화적으로도 많은 발전을 가져왔으나, 중금속을 포함한 다양한 환경유해물질에 의한 노출이 증가되는 결과를 초래하였다. 특히 식품의 경우에는 생산과정 자체뿐만 아니라 제조, 가공, 조리 과정에서도 유해물질에 쉽게 노출될 가능성이 높아졌으며, 식품의 안전성 문제는 국민 건강을 위협하기에 이르렀다. 따라서, 식품의 안전성 확보는 국민의 건강을 위하여 가장 기본적으로 요구되는 사항으로, 우리 국민이 식품을 통해 노출되는 환경유해물질의 수준을 측정하는 것은 건강관리정책수립의 기본요소라 할 수 있다.

식품을 통해 섭취하는 수은의 노출수준을 평가하는 것은 매우 기본적인 중요한 위해도 평가 자료이다. 한국인이 일상적으로 섭취하는 상용식품에 근거한, 식품을 통해 노출되는 수은의 섭취량 및 위해성에 대한 평가는 국가적인 수은노출 저감화를 위한 대책수립을 위해 필수적인 사업이라 할 수 있다. 유해물질에 대한 노출수준을 평가하는 역학연구나, 국가 단위의 인체 모니터링 사업에서 특정 노출원의 위해도를 평가하기 위해서는 특정 유해물질의 독성 (Toxicity)과 이들 유해물질에 노출(Exposure)되는 정도를 파악하는 것이 필수적이다. 즉, 식품으로 인하여 노출되는 유해물질의 통합적 노출수준을 평가하기 위해서는 식품별 유해물질의 함량자료와 개인 혹은 집단이 어떤 식품을 얼마나 먹는가에 대한 식품 섭취량 자료가 필요하다. 개인이나 집단의 식품 섭취량 자료는 여러 역학 연구

에서 다양한 식사조사방법을 이용하여 수집할 수 있으나, 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스는 국내에서 아직 공식적으로 발표된 바가 없다.

2. 연구목적

본 연구의 목적은 식품으로 인한 수은의 노출수준을 평가하고, 그 역학적 특성을 파악하여, 수은노출 저감화 대책을 마련하기 위한 기초자료를 제공하는 것이다.

이를 위한 구체적인 목적은 첫째, 문헌고찰을 통하여 우리 국민이 일상적으로 섭취하는 식품에 대한 수은 함량 데이터베이스를 구축하고, 둘째, 우리 국민의 식품섭취량과 구축한 데이터베이스를 연계하여 수은 섭취량을 추정하며, 수은 노출의 역학적 특성을 파악하는 것이다.

제 2장 연구내용 및 방법

1. 연구대상 및 방법

1) 대상 식품 선정

국민건강영양조사 4기 (2007년-2009년) 식품섭취조사 결과를 토대로 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위한 대상 식품을 선정하였다. 국민건강영양조사 4기 식품섭취조사 결과 중에서 24시간 회상 자료에서 사용한 2차 식품코드를 기준으로 우리 국민 중 한 사람이 1번이라도 섭취한 702개의 식품을 데이터베이스 구축 대상 식품으로 선정하였다. 국민건강영양조사의 2차 식품코드란 식품코드는 상이하나 상용식품명이 동일하고 수분 함량이 유사하여 섭취량 산출시 합산이 가능한 식품을 묶어 1개 식품으로 분류하기 위한 것으로, 식품의 원재료 (Raw material)가 동일한 경우 조리, 가공 등의 식품 상태보다 수분 함량 차이가 $\pm 15\%$ 범위 이내인 경우 같은 2차 식품코드를 부여하였다.

2) 식품 중 수은 함량값 수집

본 연구에서는 국민건강영양조사의 식품코드 중 우리 국민이 섭취한 식품을 2차코드 기준으로 수은의 함량을 조사하였다. 총 식이조사 (Total Diet Study, TDS) 보고서와, 모니터링 보고서, 연구논문, 그리고 기타 자료에 대하여 국내 문헌 위주로 수집하였다. 총 식이

조사 보고서와 식품 중 수은 모니터링 보고서는 식품의약품안전처 연구관리시스템 홈페이지를 통해 수집하였고, 한국학술정보 (Korean studies Information Service System, KISS) 홈페이지와 구글 학술 웹사이트 (Google Scholar)에서 ‘중금속’, ‘수은’ 등의 키워드로 검색하여 연구논문을 수집하였다. 2000년 1월 1일부터 2013년 3월 14일 까지 발표된 문헌으로 제한하였으며, ‘광산’ 등의 주변에서 수집한 시료에 대하여 분석한 연구논문은 제외하였다. 수집된 문헌 중 2차 식품코드의 부여가 어려운 식품이나 국민건강영양조사 결과 대상자들이 섭취하지 않은 식품은 제외하였다.

수집된 문헌에 대해 미국 USDA (United States Department of Agriculture)에서 이용한 데이터 질적 평가 시스템을 적용 및 응용하여 자료의 질을 평가하였다. 자료의 평가 체계는 시료수집계획, 분석정도관리, 시료의 개수 및 자료의 출처로 구성되어 있다. 시료 수집계획의 경우 시료 수집에 관련된 내용이 구체적으로 있으면 정도에 따라 0점에서 2점까지 표기하였다. 분석정도관리는 기기에 대한 검증, 시험방법에 대한 분석자의 능력을 포함하고, 정도에 따라 0점에서 2점을 부여하며, 시료의 개수는 시료 분석 값을 Mean±SD (min ~ max, median)으로 제시가능한 수준의 개수이면 1, 평균값 (또는 단일값)만을 나타낸 경우 0점을 부여하도록 하였다. 수집된 모든 자료에 대하여 질 평가를 한 후, 동일한 코드에 여러 가지 값이 있는 경우, 우선적으로 합계 점수가 높은 것을 선택하고, 동일 점수일 때에는 자료의 출처에 따라 총 식이조사 (Total Diet Study, TDS), 모니터링, 연구논문, 기타 순으로 선택하였으며, 동일한 출처일 경우 분석연도가 최근인 것을 우선적으로 선택하였다.

3) 대체값 적용

동일한 원료이지만 수분 함량이 달라 2차 식품코드가 다른 경우에는 식품 중 수분 함량을 고려하여 식품 중 수은 함량을 계산하였다. 즉, 수분 함량의 차이 이외에 조리과정에서 다른 재료가 포함된 경우를 제외하고 동일한 재료이지만 수분 함량에만 차이가 있는 경우, 국민건강영양조사 3차 식품코드의 환산계수로 대체값을 구하였다. 예를 들어, ‘취나물(산채),생것’에 대한 수은 함량 값이 있는데, 마른 것과 삶은 것에 대한 함량 값이 부재할 경우, 환산계수를 이용하여 ‘취나물(산채),마른 것’과 ‘취나물(산채),삶은 것’에 대한 대체값을 적용하였다.

4) 데이터베이스 구축 및 완성도 평가

본 데이터베이스에서 사용한 식품코드는 국민건강영양조사에서 사용하는 2차 식품코드를 그대로 사용하였다. 식품명은 한글명으로 국민건강영양조사의 표현을 그대로 사용하였고, 개별 식품의 수은 함량은 1kg 당 mg으로 표시하였다. 모든 식품은 국민건강영양조사에서 분류하는 18개의 식품군으로 재분류하였다.

구축된 데이터베이스의 완성도 (Coverage)를 평가하기 위하여 국민건강영양조사 4기(2007-2009년)의 24시간 회상법 자료를 이용하여 수은 함량이 구축된 식품과 대상자가 섭취한 식품의 섭취량과 가짓수를 비교하였다.

5) 우리나라 국민의 식품을 통한 수은 노출량 평가

우리 국민의 식품을 통한 수은 노출 수준은 국민건강영양조사 4·5기 (2007-2011년) 식품섭취조사 자료를 이용하여 분석하였다. 국민건강영양조사 4·5기 대상자 중 24시간 회상법 조사에 참여한 사람은 총 37,836명이며, 이 중 체중 정보가 없는 2,327명을 제외하였다. 에너지 섭취의 이상치를 제외시키기 위하여 한국인 영양섭취 기준 2010에서 성별, 연령별 1일 에너지 필요추정량 대비 비율을 산출하였다. 그 결과 1일 에너지 필요추정량 대비 비율이 20% 미만이거나, 200% 이상인 사람을 제외하였다. 그 결과, 최종적으로 34,953명을 노출량 평가에 포함하였다.

우리나라 국민의 식품을 통한 수은 노출의 위해도를 평가하기 위해 FAO/WHO 식품첨가물 전문가회의(JECFA)에서 제정한 수은에 대한 잠정주간섭취한계량(PTWI : Provisional tolerable weekly intake)으로부터 PTDI(Provisional tolerable daily intake)을 환산하여 비교하였다. PTWI는 일생동안 섭취하여도 건강상 유해한 작용을 일으키지 않는다고 판단되는 체중 1kg당 주간 섭취한계량으로 현재 총 수은에 대한 PTWI는 $4\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{week}$ 이다 (2010). 국민건강영양조사의 식품섭취조사는 1일간의 식사에 대한 섭취량을 제시하고 있으므로, PTWI를 PTDI로 환산하여 비교하고자 하였다. 수은에 대한 PTDI는 약 $0.5714\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ 이다. 1인당 1일 총 수은 섭취량과 체중당 수은 섭취량, PTDI 대비 비율을 산출하여, 고위험 섭취자의 비율을 추정하였다. 수은 섭취 기여율이 높은 식품군과 식품을 선별하였다. 단위체중당 수은 섭취량을 기준으로 고위험군과 정상섭취군 사이에 섭취량에 차이가 있는 식품군과 식품을 분류하

고, 성, 연령, 소득수준 등의 인구학적 변수 및 특정 식품군의 섭취량과 단위체중당 수은 섭취량의 연관성을 살펴보았다.

2. 통계분석

2007-2011년도 국민건강영양조사 영양조사부문 원시자료에 등장한 식품을 식품 중 수은 함량 데이터베이스와 연계하여 개인별 수은 총 섭취량을 산출하였다. 1인 1일 섭취량에는 영양조사가중치를, 단위체중당 1인 1일 섭취량과 % PTDI 값에는 검진결과인 체중의 적용을 위해 연관성가중치 (건강설문&검진&영양)를 이용하여 각각 수은 총 섭취량의 평균과 분포를 도출하였다. 개인별 영양조사가중치를 고려하여 성별, 연령별 수은 섭취 수준을 비교하였다. 식품군별 수은의 1일 평균 섭취량을 산출하여, 수은의 총 섭취량 대비 각 식품군으로부터 수은 섭취량의 비율로 식품군별 기여도를 산출하여 수은의 주요 급원 식품군을 분석하였다. 식품별 수은 섭취량을 산출하여 수은 섭취 기여도가 높은 상위 30개 식품을 선별하였다. 단위체중당 수은섭취량을 기준으로 대상자를 고위험군과 정상섭취군으로 나누고, 두 그룹간 섭취량에 차이가 있는 식품군 및 식품을 선별하였다. GLM (Generalized Linear Model)을 이용하여 성, 연령, 소득수준 등의 인구학적 변수 및 특정 식품군의 섭취에 따른 단위체중당 수은섭취의 연관성을 살펴보았다.

자료의 분석은 SAS 9.3 (SAS Institute INS, Cary, NC)를 이용하였다.

제 3장 연구결과

1. 한국인 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스의 구축

2007년부터 2009년까지 3년간 전국을 대상으로 조사된 국민건강영양조사 4기 자료에 의하면 우리나라 사람들이 섭취하는 식품의 종류는 2차 식품코드를 기준으로 총 702종이었다.

702종의 식품에 대하여 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위하여 국내문헌 위주로 수집한 후, 검색 결과에서 ‘광산’ 등의 주변에서 수집한 시료를 분석한 경우와, 기타 연구자의 판단에 따라 문헌을 제외한 후, 총 68건의 문헌을 선정하여 검토하였다. 개별 문헌에 제시된 식품별 수은 함량을 수집한 후, 개별 문헌의 질적 평가를 수행하였다. 자료 수집 예시는 Table 1과 같다. 수은 함량 자료의 출처와 질 평가 점수, 구입처, 원산지, 가공형태, 조리법, 전처리, 분석방법, 검출한계, ND 처리방법, 검출률(%), 자료 수, 표준편차, 중앙값, 최소값, 최대값 등의 정보에 대하여 가능한 정보를 모두 표시하였다. 질 평가체계는 미국 USDA에서 이용한 데이터 질적 평가 시스템을 적용 및 응용하였다 (Bhagwat et al., 2009). Table 2에서와 같이 자료의 평가를 거쳐 최종적으로 본 데이터베이스에서 구축한 한국인 상용 식품의 수은 함량은 국내 TDS 보고서로부터 169개 식품, 모니터링 보고서로부터 33개 식품, 논문으로부터 96개 식품, 기타 자료로부터 1개 식품에 대한 값을 얻을 수 있었다. 식재료의 수분함량을 고려하여 57개 식품에 대한 값을 대체값으로 사용하였고, 그

이외의 346개 식품에 대해서는 수은 함량에 대한 데이터가 없고, 수분함량을 이용한 대체값도 계산할 수 없어서 결측값으로 처리하였다.

Table 1. Example of data description for mercury database construction

Food name	Food group	Mercury (mg/kg)	Pre-processing	Analytical method	LOD (mg/kg)	ND treatment	Detection rate (%)	No. of data	SD	Median	Min	Max	Reference	Data evaluation ¹⁾	Data source ²⁾
Yeot (Crude maltose)	3	0.0008	N/A	Mercury analyzer(Model SP-3D, Nippon Instrument Co.,Japan)	<0.0001	N/A	N/A	20	0.0004	N/A	ND	0.0023	정소영 등, 2002	1-0-1	3
Red pepper	6	0.001	N/A	Mercury analyzer(Model SP-3D, NIC, Japan)	N/A	N/A	N/A	10	N/A	N/A	0.0003	0.001	김미혜 등, 2003	1-0-1	3

¹⁾ Scoring on a scale of 0-0-0 to 2-2-1 according to Sampling plan, analytical quality control, and number of samples

²⁾ 1: Total Diet Study (TDS) report, 2: Monitoring report, 3: research papers in journal, 4: other sources

Table 2. Literature sources for mercury content of food mainly consumed among Koreans

Categories		No. of food items	Percentage(%)
Type of literatures	TDS	169	24.1
	Monitoring	33	4.7
	Journal	96	13.7
	others	1	0.1
Imputation		57	8.1
Missing		346	49.3
Total		702	100.0

본 연구에서 구축된 데이터베이스를 Table 3-1부터 Table 3-18에 제시하였다. 결측값은 제시하지 않았다.

Table 3-1. Mercury content of grains

Food name	Mercury(mg/kg)
Buckwheat	0.0080
Buckwheat,Buckwheat noodle,Raw	0.0033
Buckwheat,,Buckwheat noodle,,Boiled	0.0015
Buckwheat,Buckwheat noodle,Dry form,Raw	0.0041
Starch jelly	0.0009
Wheat	0.0020
Wheat flour	0.0012
Bread crumbs	0.0011
Noodles,Dry form	0.0003
Noodles,Boiled	0.0002
Ramyeon	0.0018

Food name	Mercury(mg/kg)
Ramyeon,Cooked	0.0004
Noodles,Raw	0.0006
Jungmyeon	0.0003
Breads	0.0008
Cookies,Biscuits,Crackers	0.0004
Snacks	0.0009
Breads with small red bean paste or jam	0.0008
Loaf bread	0.0002
Cakes	0.0010
Hamburgers	0.0007
Barley	0.0017
Sorghum	0.0000
Rice cakes with shredded red bean,Sirutteok	0.0007
Cereals	0.0000
Brown rice	0.0025
Polished rice	0.0016
Glutinous rice	0.0027
Cooked rice	0.0006
Cooked multigrain rice	0.0010
Nurungji,scorched rice	0.0017
Rice gruels	0.0003
Garaetteok/Baekseolgi	0.0015
Corn,Dried	0.0000
Corn	0.0003
Foxtail millet	0.0008
Ramyeon,Cup	0.0007

Table 3-2. Mercury content of potatoes & starch

Food name	Mercury(mg/kg)
Potato	0.0005
Sweet potato	0.0004
Sweet potato,Boiled and Dried	0.0010
Devil's tongue	0.0004
Starches	0.0013
Sweet potato starch vermicelli	0.0012
Sweet potato starch vermicelli,Boiled	0.0007

Table 3-3. Mercury content of sugars

Food name	Mercury(mg/kg)
Fructose	0.0009
Molasses/Syrups	0.0004
Starch syrup	0.0003
Sugars	0.0003
Thick starch syrups	0.0003
Yeot (Crude maltose)	0.0008
Dextrose(Glucose)	0.0015

Table 3-4. Mercury content of legumes

Food name	Mercury(mg/kg)
Kidney beans	0.0070
Kidney beans,Dried	0.0129
Mungbeans	0.0050
Mungbeans,Boiled	0.0019
Mungbeans,Pancake dough	0.0014
Soybeans	0.0006
Soybeans,Boiled	0.0008
Soybean curd	0.0005
Soybean curd,Dried	0.0025
Soybean curd,Unpressed	0.0003
Soybean curd,Fried	0.0003
Soybean milk	0.0003
Soybean powder	0.0006
Peas	0.0080
Peas,Dried	0.0201
Small red beans,Dried	0.0000
Small red beans,Boiled	0.0000

Table 3-5. Mercury content of seeds and nuts

Food name	Mercury(mg/kg)
Perilla seeds	0.0009
Sesame,Seeds,Black sesame	0.0006
Sesame,Seeds,White sesame	0.0007

Table 3-6. Mercury content of vegetables

Food name	Mercury(mg/kg)
Eggplant,Wild vegetables	0.0008
Eggplant,Wild vegetables,Dried	0.0104
Bracken	0.0015
Bracken,Dried	0.0156
Green pepper	0.0006
Red pepper	0.0010
Red pepper,Dried	0.0055
Leaf beet(Chard)	0.0025
Kimchi,Kkakduki	0.0007
Kimchi,Nabakkimchi	0.0016
Kimchi,Dongchimi	0.0011
Kimchi,Baechukimchi	0.0005
Kimchi,Yeolmukimchi	0.0009
Kimchi,Chongkakkimchi	0.0005
Perilla,Leaves	0.0004
Perilla,Leaves,Canned/Bean,Leaves,Canned	0.0015
Ligusticum acutilobum	0.0000
Carro	0.0002
Codonopsis lanceolata	0.0020
Codonopsis lanceolata,Powder	0.0107
Balloom flower,Root	0.0030
Balloom flower,Root,Powder	0.0097
Balloom flower,Root,Blanched	0.0013
Aralia elats	0.0009
Garlic	0.0007
Garlic,Dried	0.0018
Radish leaves	0.0039
Radish	0.0005

Food name	Mercury(mg/kg)
Radish,Danmuji	0.0004
Water dropwort	0.0010
Cabbage	0.0002
Chinese cabbage	0.0008
Chinese chive	0.0008
Lettuce	0.0002
Ginger	0.0004
Mungbean sprout	0.0010
Spinach	0.0018
Angelica keiskei	0.0040
Crown daisy	0.0040
Head lettuce	0.0005
Onion	0.0005
Young leafy radish,Yeolmu	0.0020
Cucumber	0.0004
Cucumber preserved with salt	0.0003
Burdock	0.0000
Asian plantain	0.0120
Kale	0.0032
Soybean sprout	0.0006
Tomato	0.0002
Tomato juice	0.0000
Welsh onion	0.0003
Sweet pepper	0.0000
Pumpkin,Mature	0.0010
Pumpkin,Sliced,Dried	0.0025
Young pumpkin	0.0002

Table 3-7. Mercury content of mushrooms

Food name	Mercury(mg/kg)
Oyster mushroom	0.0004
Juda's ear,Dried	0.0230
Juda's ear,Boiled	0.0010
Manna lichen	0.2010
Phellinus linteus	0.0290
King oyster mushroom	0.0030
Agaricus bisporus	0.0010

Food name	Mercury(mg/kg)
Agaricus bisporus,Powder	0.0099
Winter fungus	0.0010
Oak mushroom,Dried	0.0270
Oak mushroom	0.0010
Oak mushroom,Powder	0.0283

Table 3-8. Mercury content of fruits

Food name	Mercury(mg/kg)
Persimmon	0.0008
Persimmon,Dried	0.0021
Citrus fruit	0.0003
Strawberry	0.0008
Strawberry,Jam	0.0000
Banana	0.0003
Banana,Dried	0.0010
Pear	0.0006
Peach	0.0006
Apple	0.0005
Apple,Dried	0.0024
Watermelon	0.0003
Orange	0.0007
Orange juice	0.0001
Oriental Melon	0.0000
Kiwi	0.0008
Pineapple	0.0000
Grape	0.0005
Grape,Raisin	0.0026
Grape juice	0.0000

Table 3-9. Mercury content of meats

Food name	Mercury(mg/kg)
Whale meat	0.0002
Pheasant meat	0.0000
Chicken	0.0005
Chicken,Fried	0.0000
Chicken,Edible viscera	0.0005
Pork	0.0006
Pork,Belly	0.0005
Pork,Edible viscera	0.0017
Pork products,Ham	0.0003
Pork products,Sausage	0.0020
Beef,Korean beef cattle	0.0010
Beef,Imported beef cattle	0.0004
Beef,Edible viscera	0.0008
Beef,Beef feet,Soup	0.0001
Duck meat	0.0000
Turkey meat	0.0000
Rabbit meat	0.0000

Table 3-10. Mercury content of eggs

Food name	Mercury(mg/kg)
Hen's egg	0.0007
Quail's egg	0.0010

Table 3-11. Mercury content of fishes & shellfishes

Food name	Mercury(mg/kg)
Flat fish	0.0540
Horse mackerel	0.0740
Hair tail	0.0849
Mackerel	0.0775
Pacific saury	0.0517
Bastard halibut	0.0630

Food name	Mercury(mg/kg)
Common sea bass	0.1100
Fish,Salt-fermented	0.0388
Tuna	0.2822
Tuna,Dried	0.7811
Tuna,Canned	0.0455
Pacific cod	0.0630
Pacific cod,Dried strip	0.2487
Fine-spotted flounder	0.0458
Sandfish	0.0770
Sea bream	0.1130
Sea bream,Dried strip	0.1264
Cut tailed bullhead	0.0200
Cat fish	0.0590
Anchovy	0.0190
Anchovy,Boiled and dried	0.0177
Fish and Shellfish,Salt-fermented,Liquid type	0.0104
Alaska pollack	0.0503
Alaska pollack,Semi-dried	0.0693
Alaska pollack,Dried strip	0.0813
Goby	0.0360
Loach	0.0400
Croaker	0.0570
Yellow tail	0.2230
Icefish	0.0085
Icefish,Dried strip	0.0440
Harvest fish	0.0180
Puffer	0.0890
Rock fish	0.0720
Crucian carp	0.0240
Crucian carp,Boiled	0.0686
Sea raven	0.1522
Spanish mackerel	0.0310
Shark	0.3940
Sole	0.0560
Trout	0.0350
Common mullet	0.0090
Angler	0.1120
Naked sand lance	0.0620
Naked sand lance,Dried	0.1021

Food name	Mercury(mg/kg)
Bartailed flathead,Platycephalus indicus	0.1160
Chum salmon	0.0260
Alabesque greenling	0.0450
Alabesque greenling,Dried strip	0.0424
Crap	0.0290
Eel	0.0679
Pacific ocean perch	0.4250
Horse mackerel,Dried strip	0.1467
Gizzard shad	0.0200
Sardine	0.0240
Yellow croaker	0.0362
Yellow croaker,Salt-cured and dried	0.0166
Rock trout	0.0520
File fish,Stephanolepis cirrhifer,Fillet,Dried	0.0260
Pacific herring	0.0800
Leather carp	0.0090
Skate ray	0.0180
Sea rundace	0.0790
Fish paste	0.0228
Whelk,Kelletia lischkei	0.0743
Hen clam,Raw	0.0200
Butter clam	0.0260
Oyster	0.0090
Shrimp/Shellfish,Salt-fermented	0.0074
Granulated ark shell	0.0690
Jackknife	0.0270
Whelk,Kelletia lischkei	0.2217
Little neck clam	0.0112
Little neck clam,Dried	0.0564
Orient hard clam	0.0539
Sakhalin surf-clam	0.0170
Turban shell,Canned	0.0240
Marsh clam	0.0240
Abalone	0.0018
Pen shell	0.0190
Ark shell	0.0090
Hard-shelled mussel	0.0080
Crayfish,Mantis prawn	0.0300
Cuttle fish	0.0170

Food name	Mercury(mg/kg)
Urechis unicinctus	0.0000
Crab	0.0248
Beka squid	0.0240
Beka squid,Boiled and dried	0.0470
Common sea squirt	0.0100
Whip-arm octopus	0.0160
Common octopus	0.0428
Common octopus,Dried	0.1917
Warty sea squirt	0.0390
Shrimp	0.0152
Shrimp,Boiled and dried	0.0128
Common squid	0.0435
Common squid,Dried	0.0910
Common squid,Frozen	0.0713
Common squid,Smoked	0.1092
Webfoot octopus	0.0310
Sea cucumber	0.0350

Table 3-12. Mercury content of seaweeds

Food name	Mercury(mg/kg)
Laver,Raw	0.0005
Laver,Dried	0.0045
Sea tangle,Raw	0.0016
Sea tangle,Dried	0.0153
Seaweed fulvescens	0.0200
Sea mustard,Raw	0.0037
Sea mustard,Dried	0.0180
Sea mustard,Stem	0.0036
Seastaghorn,Raw	0.0000
Seastaghorn,Dried	0.0000
Seaweed fusiforme	0.0053
Seaweed fusiforme,Dried	0.0300
Sea lettuce	0.0024
Sea lettuce,Dried	0.0200

Table 3-13. Mercury content of milk & dairy products

Food name	Mercury(mg/kg)
Milk powder,Modified	0.0005
Milk	0.0002
Sherbet	0.0000
Ice cream	0.0003
Yoghurt,Liquid type	0.0004
Yoghurt,Curd type	0.0001

Table 3-14. Mercury content of oils

Food name	Mercury(mg/kg)
Butter	0.0009
Sesame oil	0.0005
Coffee creamer,Powder	0.0005
Soybean oil	0.0002
Grape seed oil	0.0009

Table 3-15. Mercury content of beverages & alcohols

Food name	Mercury(mg/kg)
Beverages,Vegetable beverages	0.0000
Beverages,Fruit beverages	0.0005
Beverages,Rice beverage	0.0008
Ion supply drink	0.0003
Beverages,Carbonated beverages	0.0004
Soda	0.0002
Coke	0.0004
Fruit liquor	0.0008
Takju (Korean turbid rice liquor)	0.0002
Beer	0.0002
Soju(Distilled liquor)	0.0002
Oriental herbal liquor	0.0002
Whisky	0.0002
Sake	0.0000
Teas,Dried	0.0000
Green tea,Dried,Powder	0.0860

Food name	Mercury(mg/kg)
Green tea,Dried,Infusion	0.0003
Fruit tea preserved with sugar	0.0010
Ginseng tea,Granule	0.0003
Coffee,Powder,Instant	0.0002
Coffee,Percolated	0.0005
Coffee,Canned	0.0002
Functional beverage	0.0000
Coffee,Coffee mix.	0.0003

Table 3-16. Mercury content of seasonings

Food name	Mercury(mg/kg)
Soy sauce	0.0003
Cinnamon powder	0.0120
Red pepper powder	0.0002
Gochujang,Fermented red pepper paste	0.0004
Sesame,Roasted and ground	0.0013
Doenjang,Soybean paste,Powdered	0.0007
Doenjang,Soybean paste	0.0004
Garlic,Powder	0.0018
Mayonnaise	0.0000
Cooking wine	0.0003
Seasoning powder	0.0074
Ginger,Powder	0.0023
Salt	0.0005
Vinegar	0.0001
Mixed soybean paste with red pepper paste	0.0004
Chili sauce	0.0000
Modified soybean sauce	0.0075
Seasoning paste	0.0001
Tomato ketchup	0.0003
Pepper,Ground	0.0068

Table 3-17. Mercury content of prepared foods

Food name	Mercury(mg/kg)
Mandu	0.0005
Curry	0.0000
Jajang,Retort pouched	0.0000

Table 3-18. Mercury content of other foods

Food name	Mercury(mg/kg)
Silkworm-Vegetable worms (Silkworm-Dongchunghacho) Paecilomyces japonica (tenuipes),Dried	0.0070
Ginseng	0.0025
Ginseng,Dried	0.0112
Red ginseng	0.0064
Red ginseng,Extract	0.0011
Propolis	0.0130

2. 구축된 데이터베이스의 완성도 평가

본 연구에서 구축된 데이터베이스를 2007-2009년도 국민건강영양조사 식품섭취조사 결과에 대입한 후, 각 식품군별로 총 식품에서 수는 함량 값이 존재하는 식품의 비율을 계산하여 데이터 완성도를 평가하였다 (Table 4). 총 702개의 식품 중 356개의 식품에 대한 수는 함량 값이 존재하여, 전체 식품 중 50.7%의 식품이 포함된 것으로 확인되었다. 반면, 대상자들의 식품섭취량을 기준으로 평가했을 때는, 섭취한 식품의 95.1%를 포함하였다. 즉, 식품수로 평가할 때는 데이터베이스가 미비하나, 섭취량으로 비교할 때 우리 국민이 보편적으로 섭취하고 있는 식품들은 대부분 포함하고 있는 것으로 평가되었다. 식품수로는 버섯류, 두류, 어패류의 완성도가 각각 85.7%, 73.9%, 73.2%로 높았으며, 종실류, 조리가공식품류, 유지류, 과일류의 경우 30% 미만의 완성도를 보였다. 섭취량으로는 종실류 (31.8%), 기타 (62.7%), 해조류 (77.1%), 당류 (79.1%), 조리가공식품류 (81.3%)를 제외한 모든 식품군에서 90% 이상의 완성도를 갖는 것으로 평가되었다.

Table 4. Database coverage for number and weight of food

Food group	Number of food			Weight of food		
	No. of food consumed	No. of food included	Coverage (%)	Wt. of food consumed (g/day/person)	Wt. of food included (g/day/person)	Coverage (%)
Grains	67	37	55.2	284.4	269.6	94.8
Potatoes & starch	13	7	53.8	34.3	32.8	95.8
Sugars	15	7	46.7	6.6	5.3	79.1
Legumes	23	17	73.9	34.6	33.8	97.7
Seeds and nuts	17	3	17.6	2.5	0.8	31.8
Vegetables	143	55	38.5	272.7	255.2	93.6
Mushrooms	14	12	85.7	3.8	3.8	99.9
Fruits	67	20	29.9	169.2	161.5	95.4
Meats	28	17	60.7	71.2	69.4	97.5
Eggs	4	2	50.0	21.0	20.9	99.9
Fishes & shellfishes	138	101	73.2	45.0	43.0	95.5
Seaweeds	24	14	58.3	5.4	4.1	77.1
Milk & dairy products	13	6	46.2	98.0	96.0	98.0
Oils	17	5	29.4	6.5	5.9	91.4
Beverages & alcohols	44	24	54.5	126.3	123.3	97.7
Seasonings	41	20	48.8	28.0	25.4	90.9
Prepared foods	14	3	21.4	5.6	4.6	81.3
Others	20	6	30.0	0.4	0.2	62.7
Total	702	356	50.7	1215.4	1155.7	95.1

3. 우리나라 국민의 식품을 통한 수은 노출량 평가

1) 대상자의 일반적 특성

수은 섭취량 추정 대상자의 일반적 특성은 Table 5과 같다. 총 34,953명의 대상자 중 남성이 43.1%, 여성이 56.9%로 여성의 비율이 더 높았으며, 연령별로는 20대의 비율이 10% 미만으로 가장 낮은 것을 제외하고 비교적 고르게 분포하였다.

2) 수은 섭취량 추정과 평가

대상자 34,953명으로부터 추정한 우리 국민의 1일 평균 수은 섭취량은 $3.3\mu\text{g}$ 이었으며, 단위체중당 수은 섭취량은 $0.057\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ 로 이는 PTDI의 10% 수준이다(Table 6).

성별, 연령별 수은 섭취량을 Table 7에 제시하였다. 우리나라 남성의 평균 수은 섭취추정량은 $3.95\mu\text{g}/\text{day}$, 여성의 평균 수은 섭취량은 $2.26\mu\text{g}/\text{day}$ 로 남성의 평균 수은 섭취량이 여성보다 모든 연령에서 통계적으로 유의하게 많았다. 연령별로는 남성은 50대, 여성은 40대에서 평균 섭취량이 가장 많았고, 단위체중당 수은 섭취량은 남성은 10세 미만, 50대, 40대 순으로, 여성은 10세 미만, 40대, 50대 순으로 많았다. PTDI 대비 섭취율은 남성은 11.08%, 여성은 8.89%로 남성이 여성에 비해 유의하게 높았다.

전체 대상자 34,953명 중 PTDI 이상으로 섭취한 사람은 175명이었으며, 우리나라 국민 중 PTDI 이상으로 섭취한 사람의 추정비율은 0.54%이었다. 우리나라 국민의 약 92%가 PTDI 25% 미만으로 수

은을 섭취하고 있는 것으로 나타났다 (Table 8).

Table 5. Distribution of the study subjects by sociodemographic characteristics

Characteristics	N	%
Total	34953	100.0
Sex		
Males	15078	43.1
Females	19875	56.9
Age		
<10	4967	14.2
10-19	4453	12.7
20-29	2737	7.8
30-39	4919	14.1
40-49	4791	13.7
50-59	4588	13.1
60-69	4404	12.6
≥ 70	4094	11.7
Household income		
Low	6334	18.1
Middle low	8837	25.3
Middle high	9851	28.2
High	9302	26.6
Non-response	629	1.8
Education		
Less than Elementary school	15229	43.6
Middle school	3927	11.2
High School	8590	24.6
Upper university	6706	19.2
Non-response	431	1.2
Smoking status		
Never	21386	61.2
Former	2181	6.2
Current smoker	7806	22.3
Light smoker	3049	8.7
Heavy smoker	4757	13.6
Non-response	3580	10.2

Table 6. Mercury exposure from food among Koreans

(N=34.953)	Mean	SE	Min	5th	25th	50th	75th	95th	Max
Total mercury intake ($\mu\text{g}/\text{day}$)	3.3	0.05	0.0	0.4	0.8	1.5	3.5	11.1	143.7
Mercury intake per body weight ($\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$)	0.057	0.001	0.000	0.008	0.016	0.028	0.063	0.192	3.455
% PTDI ¹⁾ of mercury	10.0	0.14	0.0	1.4	2.7	4.9	11.0	33.6	604.6

¹⁾ PTDI for mercury is $0.5714 \mu\text{g}/\text{kg} \text{ bw}/\text{day}$

Table 7. Mean intake level of mercury by sex and age group

Age (years)	Male										Female										p value by sex difference		
	Total mercury intake ($\mu\text{g}/\text{day}$)			Mercury intake per body weight ($\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$)			% PTDI of mercury			Total mercury intake ($\mu\text{g}/\text{day}$)			Mercury intake per body weight ($\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$)			% PTDI of mercury			Total intake	Intake per body weight	% PTDI		
	N	Mean	SE	p value	Mean	SE	p value	Mean	SE	p value	N	Mean	SE	p value	Mean	SE	p value	Mean				SE	p value
<10	2573	1.71	0.06		0.08	0.00		13.55	0.43		2394	1.43	0.04		0.07	0.00		12.41	0.39		<0.0001	<0.0001	<0.0001
10–19	2316	2.57	0.11		0.05	0.00		7.97	0.29		2137	2.11	0.09		0.04	0.00		7.53	0.28		<0.0001	0.2366	0.2366
20–29	1087	4.05	0.27		0.06	0.00		9.87	0.65		1650	2.57	0.14		0.05	0.00		8.10	0.41		<0.0001	0.0221	0.0221
30–39	1777	4.76	0.20	<0.0001	0.07	0.00	<0.0001	11.46	0.47	<0.0001	3142	2.89	0.09	<0.0001	0.05	0.00	<0.0001	9.00	0.28	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
40–49	1892	5.15	0.20		0.07	0.00		12.80	0.49		2899	3.36	0.11		0.06	0.00		10.06	0.33		<0.0001	<0.0001	<0.0001
50–59	1829	5.17	0.19		0.08	0.00		13.23	0.49		2759	3.12	0.13		0.05	0.00		9.40	0.39		<0.0001	<0.0001	<0.0001
60–69	1924	3.60	0.13		0.05	0.00		9.56	0.37		2480	2.64	0.11		0.05	0.00		8.00	0.35		<0.0001	0.0087	0.0087
≥70	1680	3.04	0.16		0.05	0.00		8.58	0.44		2414	1.92	0.08		0.04	0.00		6.20	0.24		<0.0001	0.0296	0.0296
Total	15078	3.95	0.08		0.06	0.00		11.08	0.20		19875	2.62	0.04		0.05	0.00		8.89	0.14		<0.0001	<0.0001	<0.0001

Table 8. Distribution of subjects by PTDI of mercury

Range of % PTDI ¹⁾	N	Weighted Proportion(%) ²⁾	Cumulative proportion(%)
% PTDI <25%	32065	91.64	91.64
25≤%PTDI<50%	2060	5.98	97.62
50≤% PTDI <75%	480	1.36	98.98
75≤% PTDI <100%	173	0.48	99.46
%PTDI≥100%	175	0.54	100.00
Total	34953	100.00	100.00

¹⁾ % PTDI=(Daily mercury intake)/(PTDI)

²⁾ Estimated proportion for whole Korean population in complex sample design

3) 식품 및 식품군별 수은 섭취 기여율

각 식품 및 식품군별 수은 1인 평균 섭취량을 계산하여, 각각의 수은 섭취에 대한 기여율을 계산하였다. 수은 섭취에 대한 기여율이 높은 식품군은 어패류가 73.4%로 가장 높았고, 곡류 및 그 제품이 12.5%, 채소류가 5.2%로 뒤를 이었다. 특히 어패류의 경우, 식품군 섭취량 기여율은 3.8%이지만, 수은 섭취 기여율은 73.4%로 식품 섭취 중량 대비 수은 섭취량이 매우 높았다 (Table 9).

수은 섭취 기여율이 높은 상위 30개 식품을 선별하였을 때, 백미, 배추김치, 무청, 참쌀 등 4개 식품을 제외하고 모두 어패류인 것으로 분석되었다. 상위 20개 식품으로 좁혔을 때는 식품 섭취량이 많아 기여율이 높았던 백미와 배추김치를 제외한 18개 식품이 모두 어패류였다. 섭취기여율이 가장 높은 식품은 고등어로 1인 평균 수

은 섭취량에 10% 기여하였으며, 다랑어, 백미, 오징어, 명태/동태가 뒤를 이었다 (Table 10)

Table 9. Contribution Rate to mercury intake by food groups

Rank	Food Groups	Food group intake		Mercury intake	
		Average intake(g/day)	Contribution rate(%)	Average intake(μ g/day)	Contribution rate(%)
1	Fishes & shellfishes	51.4	3.8	2.403	73.4
2	Grains	297.3	22.0	0.408	12.5
3	Vegetables	289.8	21.5	0.170	5.2
4	Fruits	170.1	12.6	0.074	2.3
5	Beverages & alcohols	188.3	14.0	0.051	1.6
6	Meats	87.7	6.5	0.043	1.3
7	Seaweeds	5.0	0.4	0.027	0.8
8	Legumes	37.1	2.8	0.023	0.7
9	Potatoes & starch	34.2	2.5	0.017	0.5
10	Milk & dairy products	102.9	7.6	0.016	0.5
11	Eggs	24.0	1.8	0.016	0.5
12	Seasonings	32.3	2.4	0.011	0.3
13	Mushrooms	4.3	0.3	0.007	0.2
14	Oils	7.7	0.6	0.003	0.1
15	Sugars	8.2	0.6	0.002	0.1
16	Prepared foods	5.8	0.4	0.001	0.0
17	Others	0.7	0.1	0.001	0.0
18	Seeds and nuts	2.7	0.2	0.001	0.0
	Total	1349.4	100.0	3.274	100.0

Table 10. Major contributing food to mercury intake

Rank	Food name	Food intake		Mercury intake	
		Average intake(g/day)	Contribution rate(%)	Average intake(μ g/day)	Contribution rate(%)
1	Mackerel	4.2	0.3	0.33	10.0
2	Tuna	1.0	0.1	0.29	8.9
3	Polished rice	178.1	13.2	0.29	8.7
4	Common squid	4.2	0.3	0.18	5.5
5	Alaska pollack	3.1	0.2	0.15	4.7
6	Fish paste	6.0	0.4	0.14	4.2
7	Hair tail	1.3	0.1	0.11	3.5
8	Tuna,Canned	1.9	0.1	0.09	2.7
9	Eel	1.2	0.1	0.08	2.4
10	Bastard halibut	1.2	0.1	0.08	2.3
11	Yellow croaker	2.0	0.1	0.07	2.2
12	Pacific saury	1.3	0.1	0.07	2.1
13	Common squid,Dried	0.7	0.1	0.07	2.0
14	Angler	0.6	0.0	0.06	2.0
15	Rock fish	0.7	0.1	0.05	1.6
16	Sea bream	0.4	0.0	0.05	1.4
17	Anchovy,Boiled and dried	2.4	0.2	0.04	1.3
18	Loach	1.0	0.1	0.04	1.2
19	Crab	1.4	0.1	0.03	1.0
20	Kimchi,Baechukim chi	75.1	5.6	0.03	1.0
21	Alaska pollack,Dried strip	0.4	0.0	0.03	1.0
22	Flat fish	0.5	0.0	0.03	0.9
23	Pacific cod	0.4	0.0	0.03	0.8
24	Fish,Salt-fermented	0.6	0.0	0.02	0.8
25	Whelk,Kellettia lischkei	0.3	0.0	0.02	0.7
26	Alaska pollack,Semi-dried	0.3	0.0	0.02	0.7
27	Radish leaves	5.2	0.4	0.02	0.6
28	Whip-arm octopus	1.2	0.1	0.02	0.6
29	Glutinous rice	0.2	0.0	0.02	0.5
30	Spanish mackerel	0.6	0.0	0.02	0.5

4) 수은 섭취 고위험군의 식품 및 식품군 섭취 특성

수은 섭취 고위험군의 식품 섭취 특성을 살펴보기 위하여, 대상자의 섭취량 분포에서 단위체중당 수은 섭취량이 95백분위수 이상인 대상자를 고위험군으로, 단위체중당 섭취량이 95백분위수 미만인 대상자를 정상섭취군으로 정의하였다. 수은 섭취 고위험군과 정상섭취군 사이에 섭취량에 차이가 있는 식품군과 식품을 분석하였을 때, 섭취량 차이가 가장 큰 식품군은 어패류로, 고위험군은 정상섭취군에 비해 식품군 섭취량으로는 약 6.5배, 식품군 내 수은 섭취량으로는 약 13배 이상 더 많이 섭취하고 있는 것으로 나타났다 (Table 11). 섭취 기여율이 높았던 상위 30개 식품을 대상으로 동일한 방법을 적용하여 고위험군과 정상섭취군 사이에 섭취량 차이가 존재하는 식품을 선별한 결과 30개 식품 중에서는 멸치, 배추김치, 어류젓, 무청, 찹쌀을 제외한 모든 식품에서 고위험군이 정상섭취군에 비하여 통계적으로 유의하게 많이 섭취한 것으로 나타났다 (Table 12).

Table 11. Food group intake and mercury intake by percentile classification

Food group	Food intake (g/day)					Mercury intake ($\mu\text{g/day}$)				
	<95 percentile consumer		\geq 95 percentile consumer		p value	<95 percentile consumer		\geq 95 percentile consumer		p value
	N=33,205		N=1,748			N=33,205		N=1,748		
	Mean	SE	Mean	SE		Mean	SE	Mean	SE	
Grains	297.8	1.3	286.6	4.6	0.0171	0.4077	0.0019	0.4079	0.0067	0.9759
Potatoes & starch	34.3	0.9	32.0	2.4	0.3774	0.0175	0.0004	0.0151	0.0010	0.0320
Sugars	8.1	0.1	10.9	0.5	<0.0001	0.0017	0.0000	0.0025	0.0001	<0.0001
Legumes	37.1	0.6	37.9	2.0	0.7206	0.0227	0.0004	0.0225	0.0013	0.9233
Seeds and nuts	2.7	0.1	4.2	0.6	0.0200	0.0006	0.0000	0.0008	0.0001	.
Vegetables	286.7	2.0	347.9	8.5	<0.0001	0.1678	0.0015	0.2168	0.0086	<0.0001
Mushrooms	4.3	0.1	4.3	0.4	0.9881	0.0072	0.0003	0.0079	0.0014	0.6061
Fruits	167.7	3.0	215.7	11.6	<0.0001	0.0733	0.0016	0.0946	0.0055	<0.0001
Meats	89.0	1.3	63.7	3.9	<0.0001	0.0436	0.0006	0.0324	0.0021	<0.0001
Eggs	24.1	0.4	22.2	1.3	0.1682	0.0163	0.0002	0.0152	0.0009	0.2289
Fishes & shellfishes	40.4	0.5	262.4	5.5	<0.0001	1.5143	0.0208	19.3717	0.4872	<0.0001
Seaweeds	4.8	0.2	7.0	0.6	0.0006	0.0263	0.0007	0.0339	0.0023	0.0012
Milk & dairy products	102.9	1.6	101.6	5.5	0.8183	0.0164	0.0003	0.0166	0.0010	0.8623
Oils	7.6	0.1	10.5	0.3	<0.0001	0.0025	0.0000	0.0036	0.0001	<0.0001
Beverages & alcohols	181.8	3.4	312.6	16.3	<0.0001	0.0497	0.0009	0.0765	0.0038	<0.0001
Seasonings	31.1	0.3	54.9	1.4	<0.0001	0.0106	0.0001	0.0192	0.0005	<0.0001
Prepared foods	5.8	0.3	5.6	1.1	0.8824	0.0011	0.0001	0.0010	0.0003	0.6469
Others	0.7	0.1	0.8	0.2	0.4797	0.0009	0.0001	0.0008	0.0002	0.4674

Table 12. Highly contributed food to mercury intake by percentile classification

Rank	Food name	Food intake (g/day)				p value
		<95 percentile consumer		≥95 percentile consumer		
		N=33,205		N=1,748		
		Mean	SE	Mean	SE	
1	Mackerel	2.9	0.1	29.3	2.5	<0.0001
2	Tuna	0.1	0.0	19.1	1.6	<0.0001
3	Polished rice	177.5	1.0	189.2	3.6	0.0017
4	Common squid	3.6	0.1	15.3	1.7	<0.0001
5	Alaska pollack	2.3	0.1	18.1	2.2	<0.0001
6	Fish paste	5.7	0.2	10.7	1.4	0.0003
7	Hair tail	1.0	0.1	7.4	1.1	<0.0001
8	Tuna,Canned	1.8	0.1	4.9	0.8	0.0002
9	Eel	0.4	0.1	16.2	2.2	<0.0001
10	Bastard halibut	0.2	0.0	19.6	1.9	<0.0001
11	Yellow croaker	1.8	0.1	6.5	1.2	<0.0001
12	Pacific saury	1.0	0.1	7.0	0.9	<0.0001
13	Common squid,Dried	0.6	0.0	2.5	0.4	<0.0001
14	Angler	0.2	0.0	8.7	1.5	<0.0001
15	Rock fish	0.2	0.0	11.1	1.4	<0.0001
16	Sea bream	0.1	0.0	5.8	1.2	<0.0001
17	Anchovy,Boiled and dried	2.4	0.0	2.6	0.2	0.2561
18	Loach	0.8	0.1	3.7	1.0	0.0050
19	Crab	1.1	0.1	6.8	1.5	0.0002
20	Kimchi,Baechukimchi	75.2	0.9	72.7	2.5	0.3364
21	Alaska pollack,Dried strip	0.4	0.0	1.2	0.2	0.0007
22	Flat fish	0.4	0.0	3.0	0.8	0.0006
23	Pacific cod	0.3	0.0	3.1	0.8	0.0004
24	Fish,Salt-fermented	0.6	0.0	0.8	0.2	0.1920
25	Whelk,Kelletia lischkei	0.2	0.0	2.7	1.2	0.0368
26	Alaska pollack,Semi-dried	0.2	0.0	2.8	1.2	0.0285
27	Radish leaves	5.1	0.2	6.8	1.5	0.2479
28	Whip-arm octopus	1.1	0.1	2.9	0.7	0.0133
29	Glutinous rice	6.8	0.2	6.5	0.5	0.5753
30	Spanish mackerel	0.5	0.1	1.7	0.5	0.0181

5) 식품 섭취와 수은 섭취의 관련성

수은 섭취 기여율이 가장 높았던 어패류를 비롯하여 곡류, 채소류가 수은 섭취량에 미치는 관련성의 크기를 파악하기 위하여 GLM (Generalized Linear Model) 분석을 실시하였다. 성, 연령, 소득수준 등의 인구학적 변수를 모델에 포함하여 보정한 후, 어패류, 곡류, 채소류의 섭취에 따른 단위체중당 수은섭취의 연관성을 살펴보았다. 그 결과 어패류의 경우 Figure 1과 같이 어패류 섭취량이 증가할수록 단위체중당 수은 섭취량이 증가하는 유의한 결과가 관찰되었으나, 곡류의 경우 경향성이 관찰되지 않았고 (Figure 2), 채소류의 경우 차이가 미미하지만, 섭취량이 증가할수록 단위체중당 수은 섭취량이 증가하는 경향이 나타났다 (Figure 3).

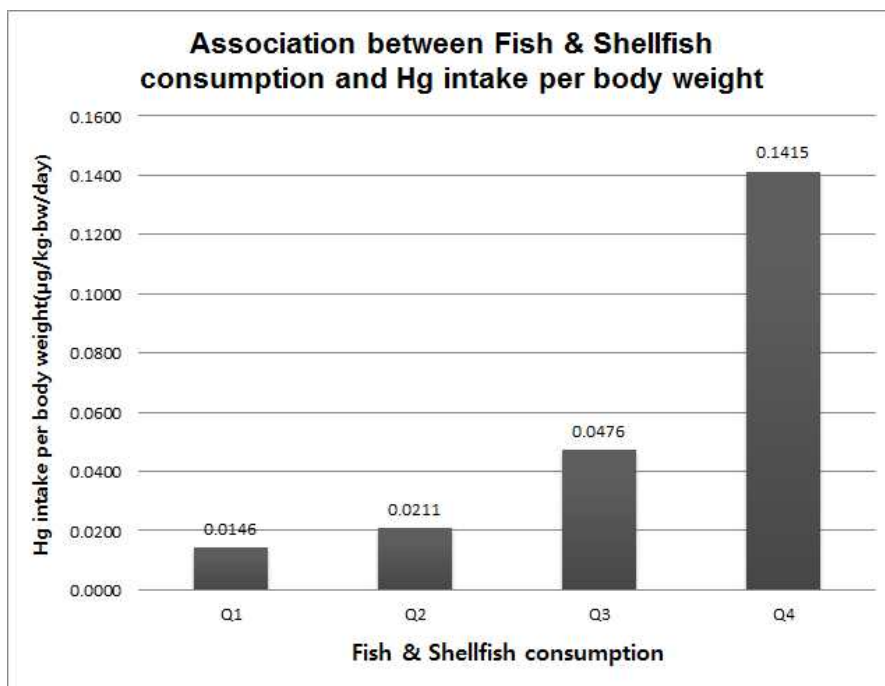


Figure 1. Association between fish and shellfish consumption and mercury intake per body weight

* p value for GLM is <0.0001.

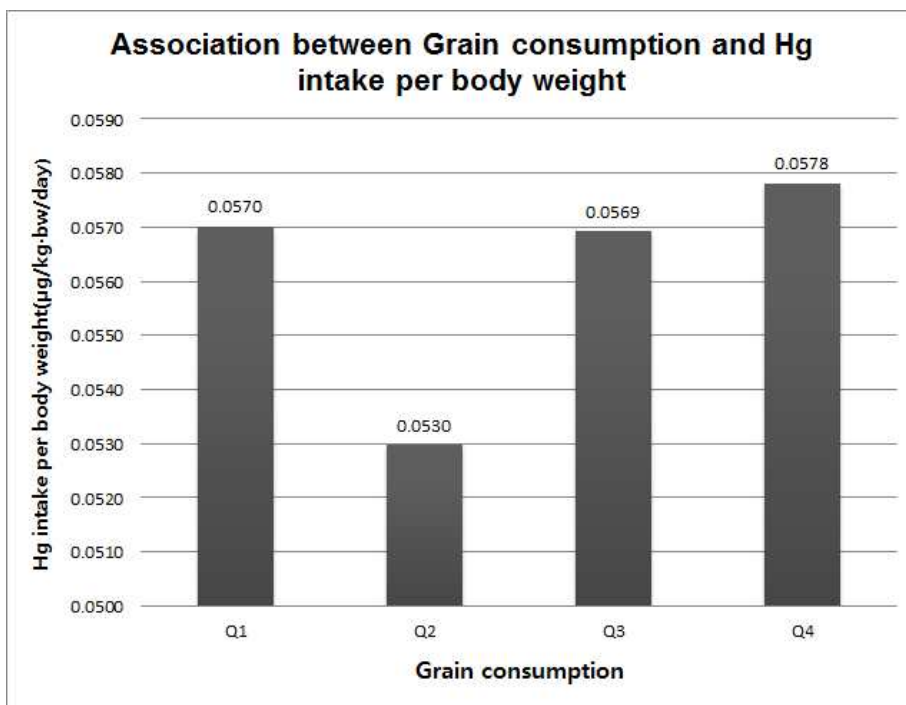


Figure 2. Association between grain consumption and mercury intake per body weight

* p value for GLM is 0.0002.

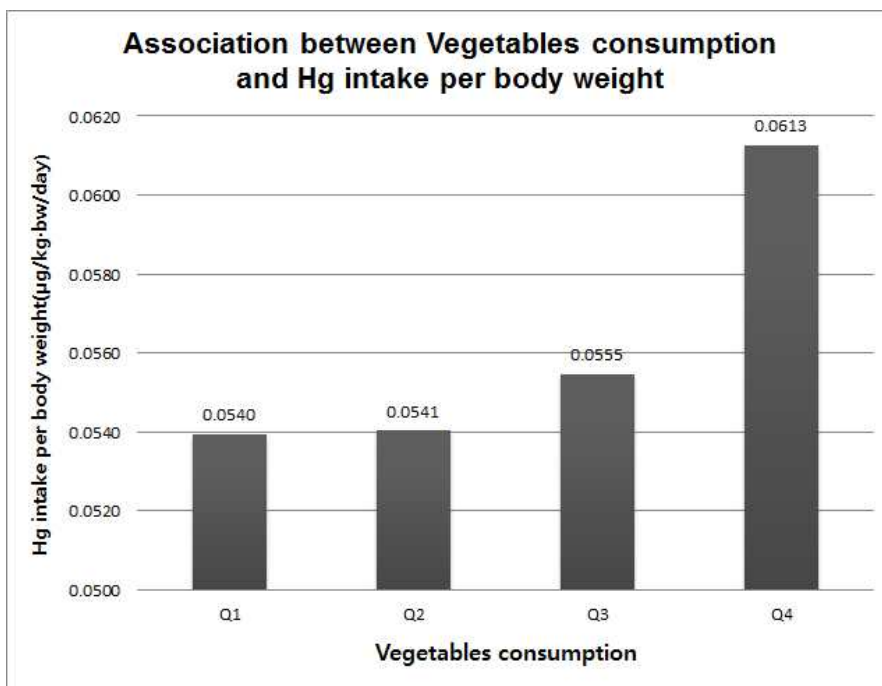


Figure 3. Association between vegetables consumption and mercury intake per body weight

* p value for GLM is <0.0001.

제 4장 고찰

본 연구에서는 한국인 상용 식품으로 대상으로 식품 중 수은 함량을 분석한 국내 문헌을 고찰하여 수은 함량 데이터베이스를 구축하고, 국민건강영양조사의 식품섭취조사 자료와 연계하여, 우리 국민의 식품을 통한 수은의 노출 특성을 평가한 결과, 어패류 섭취패턴이 수은 노출과 밀접한 관련성이 있음을 확인하였다.

본 연구에서 구축한 상용식품 중 수은 함량 데이터베이스는 국내에서 발표된 자료 중 가장 많은 식품수를 포함하였다. 식품 중 수은 함량은 토양과 물 등 지역환경의 오염 정도에 매우 큰 영향을 받으므로, 한국인의 식품으로 인한 수은 노출 수준을 평가하기 위한 데이터베이스는 국내에서 생산·유통되는 식품을 분석한 국내 문헌을 대상으로 하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 발표된 문헌의 자료를 기본적으로 사용하였다. 수은 함량 값이 보고되지 않은 식품에 대해서는 원재료는 동일하나, 수분 함량의 차이가 있는 식품에 한하여서 환산계수를 적용하여 대체값을 산출하였으며, 유사식품에는 대체값을 적용하지 않았다. 이러한 방법은 데이터베이스의 정확도를 높이지만, 완성도를 높이지 못한다는 단점이 있다.

수은 데이터베이스의 완성도를 평가해 보았을 때, 인당 1일 평균 섭취량 측면에서는 섭취량의 95% 이상을 충족시키는 것으로 평가되어, 매우 우수하다고 할 수 있으나, 식품수의 측면에서는 50%를 약간 상회하는 수준으로 식품 수의 보완이 필요하다고 할 수 있다. 미국 보건복지부 독성물질 질병등록국 (U.S. Department of Health and Human service, Public Health Service, ASTDR ; Agency for Toxic Substances and Disease Registry)이 발표한 보고서에 따르

면 여러 국가의 총 식이조사 (TDS)를 분석한 결과, 식품으로 인한 수은 노출은 어패류의 섭취가 가장 주요한 수은의 급원이며, 수은 노출 수준이 어패류 섭취량에 따라 달라지는 것을 확인하였다. 국내 연구도 이와 마찬가지로, Kim(2011)은 2005년 우리나라 국민건강영양조사 결과, 혈중 수은 농도가 어패류 섭취 빈도에 따라 증가하는 것으로 보고하였다. 어패류를 1주 1회 이상 섭취하는 사람은 그렇지 않은 사람에 비해 혈중 수은 농도가 유의하게 높은 것으로 나타났다. 이런 관점에서, 본 연구에서 구축된 데이터베이스에서 어패류의 완성도는 식품수로 73.2%, 섭취량으로는 95.5%를 포함하는 것으로 평가되어, 수은의 주요급원인 어패류를 통한 수은 섭취 수준을 비교적 정확하게 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 대상자가 섭취한 모든 식품의 수은 함량 값을 구할 수 없었고, 대체값 조차 적용하지 못한 식품들이 있어서, 이들 식품을 통한 수은 섭취량을 추정할 수 없으므로, 본 연구에서 구축된 데이터베이스를 이용하여 수은 섭취량을 추정할 때에는 과소평가의 가능성이 있다.

수은 데이터베이스에서 식품 중 수은 함량은 문헌에 제시된 평균값(mean)을 이용하였으므로, 우리 국민의 식품을 통한 수은 섭취량도 평균값을 근거로 추정되었다. 그러나 식품 중 수은 함량은 일정한 범위에 따라 분포하므로 평균값을 이용한 수은 섭취량 추정은 점추정으로써의 한계를 가진다. 즉, 평균값 이상의 수은을 함유하고 있는 식품의 섭취에 따른 위해도의 영향을 제대로 평가하지 못하는 단점이 있었다. 위해성 평가에서 평균값과 같은 대표 오염치를 사용하는 것을 중앙경향노출 (CTE; Cental Tendency Exposure)라고 하며, 이보다 더 보수적으로 사용되는 대표 오염치는 최적최대노출

(RME; Reasonable Maximum Exposure)로 대상집단에서 발생 가능한 최대 노출수준을 의미한다. 식품을 통한 수은 노출 위해성 평가에서 이 최적최대노출을 이용하지 않음으로써 덜 보수적인 노출 평가를 하게 되었다. 이는 본연구에서 이용한 데이터베이스 구축 방법의 특성상 문헌에 제시된 수치만을 이용할 수 있어, 식품 중 수은 함량의 범위를 획득하는 데에 제한이 있었기 때문이다. 추후, 식품 중 수은 함량을 분석하여 범위를 제시한 문헌이 누적될 경우, 식품 중 수은 함량값의 범위에 따른 노출량 분석이 가능해지리라 생각된다.

본 연구에서는 PTWI를 이용하여 식품으로 인한 수은 섭취 위해도를 평가하였는데, PTWI는 일생동안 섭취하여도 건강상 유해한 작용을 일으키지 않는다고 판단되는 체중 1kg당 주간 섭취한계량이다. 대상 자료인 국민건강영양조사 자료의 특성상 대상자들의 1일치 섭취량으로 평가할 수밖에 없어 PTDI (Provisional Tolerable Daily Intake)로 환산하여 위해도를 평가하였다. 대상자들의 1일치 식사로 평가한 것이므로, 대상자 개개인의 일상적인 식생활을 대표할 수 없다는 제한점이 있으나, 대상자의 수가 약 35,000명으로, 우리 국민의 평균적인 식생활을 대표할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 성, 연령, 소득수준 및 곡류, 채소류의 섭취수준을 보정한 상태에서 어패류 섭취량에 따른 단위체중 당 수은 섭취량을 계산하였을 때, 어패류 섭취수준이 증가할수록 단위체중 당 수은 섭취량이 증가하는 것으로 나타났다. 미국 환경청 (US Environmental Protection Agency)은 일반인에서 메틸수은에 노출되는 주요한 경로는 오염된 어류의 섭취이며 (EPA, 1997; Stern, 1993; Swedish EPA, 1991; WHO, 1990), 육류와 곡류의 총 수은 농도는 어류에 비

해 수백 배 낮은 것으로 보고했다 (EPA, 1997; Swedish EPA, 1991). 또한 어류를 제외한 대부분의 식품 내 수은 함량은 검출한계 (Detection limits) 값에 가까우며, 대부분 체내 활성도가 낮은 무기 수은으로 이루어져 있음이 밝혀졌다 (WHO, 1990).

2012년도 유해물질 총 식이조사 (TDS, Total Diet Study) 연구에서 2008~2010년도 국민건강영양조사 영양조사부문 원시자료에 등장한 734종 식품을 대표식품 167종에 대응 (Mapping)시켜, 수은 분석치와 연계하여 개인별 수은 총 섭취량을 산출한 결과, 수은의 평균 섭취량은 $0.069\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ 으로 PTWI의 12.15%로 나타났다. 본 연구에서 2007~2012년도 국민건강영양조사자료와 식품 중 수은 함량 데이터베이스를 연계하여 산출한 우리 국민의 수은 평균 섭취량은 $0.057\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ 로 이는 PTWI의 10% 수준이었다. 대응 (Mapping) 방법에 의해 추정된 수은 노출량은 본 연구에서 추정된 값에 비해 높게 나타났으나, 이는 분석된 일부 대표식품(167개)의 수은 함량치를 500개 이상의 다른 식품에 유사성을 고려하여 적용하여 추정된 값이므로, 일부 식품의 경우, 수은 함량을 과다 추정하게 되었을 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 이 추정 값은 실제 전체식품을 통해 우리 국민이 노출되는 중금속 양과는 차이가 있을 수 있다. 본 연구에서 사용한 데이터베이스의 경우, 수분 함량이 달라 환산계수를 적용하여 대체값을 적용한 것을 제외하고는 정확히 식품명이 동일한 경우만을 고려하여 구축된 데이터베이스이며, 2007-2009년 국민건강영양조사 자료에서 우리 국민이 섭취한 식품의 중량 대비 95% 이상을 포함하는 완성도를 나타내고 있어, 노출량 평가의 정확도 측면에서 좀 더 우수할 것으로 생각된다.

본 연구에서 구축된 식품 중 수은 함량 데이터베이스는 향후, 우리

국민의 식품을 통한 수은 섭취량을 추정하는 데 이용될 수 있으며, 본 연구의 데이터베이스 구축 방법론은 추후 식품을 통해 노출되는 다른 유해물질의 식품 중 함량 데이터베이스를 구축하는 데 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

제 5장 요약 및 결론

본 연구는 한국인 상용 식품 중 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위하여, 2007-2009년 국민건강영양조사의 식품섭취량 조사 결과를 기반으로 대상 식품을 선정하였으며, 국내에서 발표된 식품 중 수은 함량을 분석한 문헌을 고찰하여 수은 함량 값을 수집하였다. 또한 식재료의 수분함량 차이를 고려하여 대체값을 적용하였으며, 데이터베이스의 완성도는 식품수로 50.7%, 1인당 1일 평균 섭취중량으로는 95.1%로서 완성도가 매우 우수한 한국인 상용 식품 중 수은 데이터베이스가 구축되었음을 확인할 수 있었다.

우리 국민의 식품을 통한 수은 노출 수준을 평가하기 위하여 국민건강영양조사 4·5기 (2007-2011년)의 24시간 회상법 자료와 앞서, 구축된 한국인 상용식품 중 수은 데이터베이스를 연계하여 분석하였다. 34953명의 대상자로부터 추정한 우리 국민의 1일 평균 수은 섭취량은 $3.3\mu\text{g}$ 이었으며, 단위체중당 수은 섭취량은 $0.057\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ 로 이는 PTDI의 10% 수준이었다. 남성의 평균 수은 섭취량이 여성보다 모든 연령에서 통계적으로 유의하게 많았다. 우리나라 국민 중 PTDI 이상으로 섭취한 사람의 추정비율은 0.54%였으며, 우

리나라 국민의 약 92%가 PTDI 25% 미만으로 수은을 섭취하고 있는 것으로 나타났다. 수은 섭취에 대한 기여율이 높은 식품군은 어패류가 73.4%로 가장 높았고, 곡류와 채소류가 뒤를 이었다. 특히 어패류의 경우, 식품군 섭취량 기여율은 3.8%이지만, 수은 섭취 기여율은 73.4%로 식품 섭취 중량 대비 수은 섭취량이 매우 높았다. 수은 섭취 기여율이 가장 높았던 어패류를 비롯하여 곡류, 채소류가 수은 섭취량에 미치는 관련성의 크기를 파악하기 위하여 분석을 실시한 결과, 어패류 섭취량이 증가할수록 단위체중당 수은 섭취량이 증가하는 유의한 결과가 관찰되었다.

본 연구에서 구축된 식품 중 수은 함량 데이터베이스는 향후, 우리나라 국민의 식품을 통한 수은 섭취량을 추정하는 데 이용될 수 있으며, 본 연구의 데이터베이스 구축 방법론은 추후 식품을 통해 노출되는 다른 유해물질의 식품 중 함량 데이터베이스를 구축하는 데 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 고명진, 이진하, 박은희, 박상욱, 김인경, 지영애. (2012). 국내 유통 중인 채소류의 중금속 모니터링. 한국식품위생안전성학회지, 27(4), 456-460.
- 김미혜, 김정수, 소유섭, 정소영, 이종옥. (2003). 여러 가지 식품중 중금속 함량에 관한 연구. 한국식품과학회지 [KCI 등재] 제, 35(4), 561-567.
- 김미혜, 이운동, 박효정, 김은정, 이종옥. (2004). 유통 갑각류 중 중금속 함량. 한국식품과학회지, 36(3), 375-378.
- 김미혜, 이운동, 박효정, 박성국, 이종옥. (2005). 국내 유통 두부류 및 묵류 중 중금속 함량. 한국식품과학회지, 37(1), 1-5.
- 김미혜, 정소영, 소유섭, 김명철, 김창민. (2001). 칼슘, 키토산, 프로폴리스 건강보조식품중 중금속 모니터링을 통한 납기준 제정. 한국식품과학회지, 33(5), 525-528.
- 김지희, 임치원, 김평중, 박정흠. (2003). 원보: 우리나라 남해안산 패류의 중금속 함량. 한국식품위생안전성학회지, 18(3), 125-132.
- 김초일. (2011). 유해물질 총 식이조사(Total Diet Study) 기획연구. 식품의약품안전평가원 연구보고서.
- 김초일. (2012). 유해물질 총 식이조사(Total Diet Study) 연구. 식품의약품안전평가원 용역연구개발과제최종보고서.
- 김희연, 김서영, 김진철, 이진하, 장영미, 이명숙, 이광호. (2007). 유통 중인 어류의 중금속 모니터링-비소, 카드뮴, 구리, 납, 망간, 아연, 총수은. 한국식품과학회지, 39(4), 353-359.

- 노기미, 강경모, 백승립, 최훈, 박성국, 김동술. (2010). 국내 유통 주류 중 중금속 실태조사. 한국식품위생안전성학회지, 25(1), 24-29.
- 문주석 (2002). 한국인의 대표식단 중 오염물질 섭취량 및 위험도 평가. 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서
- 문주석 (2003). 한국인의 대표식단 중 오염물질 섭취량 및 위험도 평가. 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서
- 박석기. (2009). 건포류의 수은, 납, 카드뮴 및 비소 함유량. 분석과학, 22(4), 336-344.
- 박선오 (2006). 한국인의 대표식단 중 오염물질 섭취량 및 위험도 평가(총 식이조사). 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서
- 박희연. (2005). 한국 연안 해조류의 미량금속 함량. 한국식품영양학회지, 34(7), 1041-1051.
- 식품의약품안전청, 한국소비자보호원. (2005). 식품 오염물질 실태조사 및 안전관리. [서울]: 식품의약품안전청.
- 유춘철, 김덕웅. (2005). 국내에서 시판 중인 몇몇 채소류의 중금속에 관한 조사 연구. 한국식품영양학회지, 18(3), 254-264.
- 이미경, 박정숙, 임현철, 나환식. (2008). 유통 한약재의 중금속 함량 조사. 한국식품저장유통학회지 (구 농산물저장유통학회지), 15(2), 253-260.
- 이선희. (2008). GC-ECD 를 이용한 심해성 어류 중 총수은 및 메틸수은 모니터링. 창립 20 주년 제 41 회 한국분석과학회 추계학술대회 초록집, 258~ 258 쪽 (총 1 쪽).
- 정소영, 김미혜, 김정수, 홍무기, 이종욱, 김창민. (2002). 우리나라 당류의 중금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품과학회지, 34(6),

992-997.

정소영, 김정수, 김은정, 박성국, 김미혜, 홍무기, 이종옥. (2003). 우리나라 다류의 중 금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품과학회지, 35(5), 812-817.

주현진, 노미정, 유지현, 장영미, 박종석, 강명희, 김미혜. (2010). 다 소비 수산식품중 총수은및 메틸수은 모니터링. 한국식품과학회지 [KCI 등재] 제, 42(3), 269-276.

질병관리본부 (2007). 국민건강영양조사 제4기 1차년도(2007).

질병관리본부 (2008). 국민건강영양조사 제4기 2차년도(2008).

질병관리본부 (2009). 국민건강영양조사 제4기 3차년도(2009).

질병관리본부 (2010). 국민건강영양조사 제5기 1차년도(2010).

질병관리본부 (2011). 국민건강영양조사 제5기 2차년도(2011).

최달웅 (2007). 한국인의 대표식품 중 오염물질 섭취량 및 위해도 평가(총 식이조사). 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서

최달웅 (2009a). 식품을 통한 중금속 섭취량 및 위해도 평가 (TDS). 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서

최달웅 (2009b). 한국인의 대표식품 중 오염물질 섭취량 및 위해도 평가 (총 식이조사). 식품의약품안전청 용역연구사업 보고서

최순남, 정남용. (2003). 연구논문: 서류 및 구근류의 중금속 함량. 한국식품조리과학회지, 19(2), 223-230.

최종덕, 정인권. (2005). 원보: 통영연근해역 양식산 및 자연산 어류 중의 미량금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품위생안전성학회지, 20(4), 205-210.

함희진. (2002). 원보: 서울시내 수산 시장에서 유통되는 수산물의 유해성 중금속 (Hg, Cd 및 Pb) 분포에 관하여. 한국식품위생안

- 전성학회지, 17(3), 146-151.
- 허수정, 김미혜, 박성국, 이종옥. (2005). 인삼 및 인산제품류의 중금속 함량. 한국식품과학회지, 37(3), 329-333.
- 홍무기. (2000a). 우리나라 곡류, 두류 및 서류중 중금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품영양과학회지, 29(3), 364-368.
- 홍무기. (2000b). 우리나라 어패류중 미량금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품영양과학회지, 29(4), 549-554.
- 홍무기. (2001). 우리나라 채소류중 미량금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품영양과학회지, 30(1), 32-36.
- ATSDR, U. (1999). Toxicological profile for mercury. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services.
- Bhagwat, S. A., Patterson, K. Y., & Holden, J. M. (2009). Validation study of the USDA's Data Quality Evaluation System. Journal of food composition and analysis, 22(5), 366-372.
- Chung, S.-Y., Kim, M., Kim, J., Hong, M., Lee, J., & Kim, C. (2002). Trace Metal Contents in Sugar Products and Their Safety Evaluations. KOREAN JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 34(6), 992-997.
- Clarkson, T. W. (1993). Mercury: major issues in environmental health. Environmental Health Perspectives, 100, 31.
- Harada, M. (1978). Congenital Minamata disease: intrauterine methylmercury poisoning. Teratology, 18(2), 285-288.
- Harada, M. (1995). Minamata disease: methylmercury poisoning in

- Japan caused by environmental pollution. *CRC Critical Reviews in Toxicology*, 25(1), 1-24.
- Hassett-Sipple, B., Swartout, J., & Schoeny, R. (1997). Mercury study report to Congress. Volume 5. Health effects of mercury and mercury compounds: Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (United States). Office of Air Quality Planning and Standards.
- Hightower, J. M., O'Hare, A., & Hernandez, G. T. (2006). Blood mercury reporting in NHANES: identifying Asian, Pacific Islander, Native American, and multiracial groups. *Environmental Health Perspectives*, 114(2), 173.
- Keating, M. H., Mahaffey, K. R., Schoeny, R., Rice, G., & Bullock, O. (1997). Mercury study report to Congress. Volume 1. Executive summary: Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (United States). Office of Air Quality Planning and Standards.
- Kim NS, & Lee BK. (2011). National estimates of blood lead, cadmium, and mercury levels in the Korean general adult population. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 84(1), 53-63.
- Marsh, D. O., Clarkson, T. W., Cox, C., Myers, G. J., Amin-Zaki, L., & Al-Tikriti, S. a. (1987). Fetal methylmercury poisoning: relationship between concentration in single strands of maternal hair and child effects. *Archives of neurology*, 44(10), 1017.

- Son JY, Lee J, Paek D. & Lee, JT. (2009). Blood levels of lead, cadmium, and mercury in the Korean population: results from the Second Korean National Human Exposure and Bio-monitoring Examination. *Environmental research*, 109(6), 738-744.
- Stern, A.H. (1993). Reevaluation of the reference dose for methylmercury and assessment of current exposure levels. *Risk Anal.* 13(3), 355-364.
- Swedish EPA. (1991). *Mercury in the Environment: Problems and Remedial Measures in Sweden*. ISBN 91-620-1105-7.
- U.S. EPA. (1991). *Guidelines for Developmental Toxicity Risk Assessment*. Federal Register. 56:63798-63826. (December 5)
- WHO (World Health Organization). (1990). *Methyl mercury*. Vol. 101. Geneva, Switzerland: World Health Organization, International Programme on Chemical Safety.

Abstract

Development of Mercury Database for commonly consumed Food by Koreans and Assessment of Dietary Exposure to Mercury among the Korean Population

Seong-Ah Kim

Public Health Nutrition

The Graduate School of Public Health

Seoul National University

This study was aimed to develop mercury database for commonly consumed food by Koreans and assess dietary exposure to mercury among the Korean population linking mercury database with the dietary survey data from Korean National Health and Nutritional Examination Survey (KNHANES).

Target foods for mercury database were selected from KNHANES dietary survey data based on 2007–2009. The mercury contents of foods were collected through the literature review. The developed mercury database covered 50.7% of all kind of foods and 95.1% of food intake as reported by 2007–2009 KNHANES. The estimated average daily intake of mercury of Korean people was $3.3\mu\text{g}$, $0.057\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}/\text{day}$ (10% of

Provisional Tolerable Daily Intake (PTDI)), 0.54% of subjects had mercury intake more than PTDI, and 92% of subjects consumed less than 25% of PTDI. Among food groups, fishes and shellfishes was the most dominant source of dietary mercury exposure whose contribution rate was 73.4%. The more people eat fishes and shellfishes, the more mercury exposures per body weight are.

The developed mercury database can be used to estimate the dietary exposure to mercury of Korean people, and the method for developing mercury database would help researcher to develop database of other hazardous substances exposed to food.

Keywords : mercury intake, database, exposure assessment

Student Number : 2012-21886

감사의 글

석사학위 과정동안 학업과 연구를 잘 해낼 수 있도록 도와주신 모든 분들께 감사드립니다. 부족한 저를 예쁘게 봐주시고, 더 잘 할 수 있도록 이끌어주신 정효지 교수님, 항상 감사드립니다. 꼼꼼하게 논문 지도해 주신 정해원 교수님, 생소한 분야에 대해 한발짝 다가설 수 있도록 지도해 주신 최경호 교수님께 감사드립니다.

생각해 보면, 너무 정신없이 지나간 2년 동안 곳곳이 버틸 수 있게 든든한 지원군이 되어주신 부모님께 감사드립니다. 무뚝뚝한 딸이라 표현 잘 못하는 점 이해해주세요. 집보다 더 오래 시간을 머물렀던 보건영양연구실에서 함께 웃고 울어준 연구실 선생님들께 감사드립니다. 힘든 시간도 많았지만 늘 옆에 해주셔서 버틸 수 있었습니다. 나의 일을 자신의 일처럼 여기고 함께 고민하고 격려해 준 친구들에게 감사의 말을 전합니다.

대학원에서 만난 모든 소중한 저의 인연들께 감사합니다. 언제 어디서건 늘 최선을 다하겠습니다.

2014년 1월

김성아 올림